

内蒙古敖兰敖日格一带侵入岩地球化学数据的统计分析与地质解释

庞雪娇,付俊戡,宋维民,陶楠,卞雄飞,吴桐

(沈阳地质矿产研究所/中国地质调查局 沈阳地质调查中心 辽宁 沈阳 110034)

摘 要 采用数理统计方法,研究了内蒙古科右中旗敖兰敖日格一带出露的侵入岩的岩石地球化学特征. 选用地质因子分析等统计方法,分析了解体后的敖兰敖日格岩体、杜尔基岩体中各侵入岩填图单位的常量元素、区域主要成矿元素等地球化学数据,总结了侵入岩的岩石地球化学特征由老到新的演化趋势及变化规律,探讨了各主要岩体与区域成矿的相关性,为区域地质找矿提供依据.

关键词 敖兰敖日格 因子分析 侵入岩 地球化学 内蒙古

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2014.02.010

STATISTICAL ANALYSIS AND GEOLOGICAL INTERPRETATION OF THE GEOCHEMICAL DATA OF THE INTRUSIVE ROCKS IN AOLANAORIGE AREA, INNER MONGOLIA

PANG Xue-jiao, FU Jun-yu, SONG Wei-min, TAO Nan, BIAN Xiong-fei, WU Tong

(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China)

Abstract :The method of mathematical statistics is adopted to study the geochemical characteristics of the intrusive rocks in Aolanaorige area, Inner Mongolia. With geological factor statistical methods, the major elements, regional ore-forming elements and other geochemical data of the Aolanaorige rock body and Duerji rock body are analyzed after they have been disintegrated. The geochemical evolution trend and changing rule of the intrusive rocks are summarized, with discussion on the correlation between the rock mass and regional metallogenesis, which provide a basis for regional geological prospecting.

Key words :factor analysis; intrusive rock; geochemistry; Aolanaorige; Inner Mongolia

研究区位于内蒙古东部兴安盟科右中旗的西部地区. 大地构造位置属华北板块北缘晚古生代陆缘增生带,位于大兴安岭构造岩浆岩带的中段. 研究区侵入岩发育,出露面积约 210 km²,呈带状 NNE 向分布. 主体部分为前人划分的敖兰敖日格岩体和杜尔基岩体^①. 新近结题的 1:5 万孟恩陶勒盖等 5 幅区域地质调查项目将其解体. 岩石类型主要有:晚三叠世似斑状粗中粒二长花岗岩($\eta\gamma^{bcz}T_3$)、中粒二长花岗岩($\eta\gamma T_3$)、似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩($\eta\gamma^{lx}T_3$)和巨晶正长花岗岩($\xi\gamma T_3$),中侏罗世碱长花岗岩($A\gamma J_2$)和花岗斑岩($\gamma\pi J_2$). 以晚三叠世花岗岩为主,中、晚侏罗世花岗

岩零星分布(图 1). 其中似斑状粗中粒二长花岗岩、似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩和巨晶正长花岗岩是由原 1:20 万区域地质调查敖兰敖日格图幅划分的敖兰敖日格岩体解体而来,中粒二长花岗岩为 1:20 万区调划分的杜尔基岩体的主体部分. 根据 1:5 万区域地质测量工作及同位素测年数据,晚三叠世各岩体形成时间由老到新为 $\eta\gamma^{bcz}T_3 \rightarrow \eta\gamma T_3 \rightarrow \eta\gamma^{lx}T_3 \rightarrow \xi\gamma T_3$. 研究区侵入岩的 78 组地球化学数据显示,各侵入体的岩石类型均具有富 SiO₂、碱质含量高且相对富钾的特点,属高钾钙碱性花岗岩类(KCG). 所以本文采用因子分析等统计方法,以期寻找各岩体间的主要差别和变化规律,

收稿日期 2012-11-28. 编辑 张哲.

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“内蒙古 1:5 万孟恩陶勒盖、敖兰敖日格、科尔沁右翼中旗、马家窑、哈日道布幅区调项目”(编号 1212010881212、1212011120646)资助.

作者简介:庞雪娇(1984—)女,硕士,工程师,主要从事区域地质调查工作. 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号 E-mail// pangxjsy@foxmail.com

①内蒙古 1:20 万科尔沁右翼中旗幅区地质调查项目.

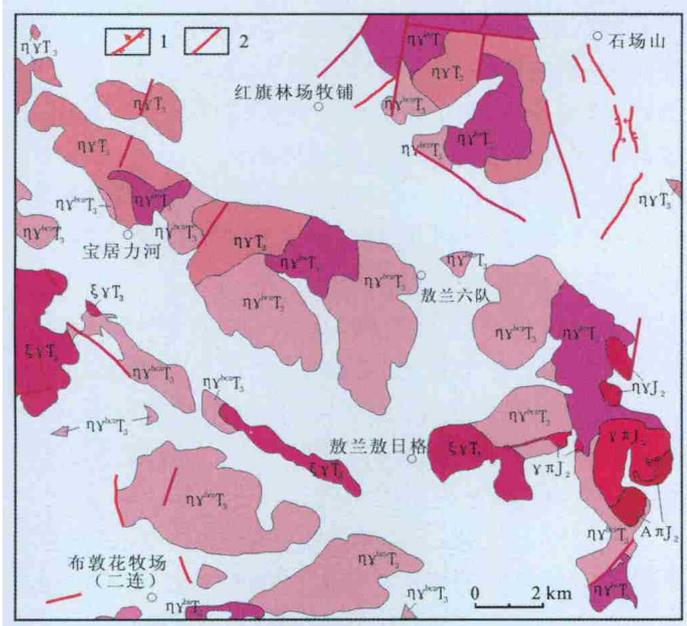


图 1 敖兰敖日格地区侵入岩分布图

Fig. 1 Distribution of the intrusive rocks in Aolanaoorige area
 $\gamma\pi J_2$ —中侏罗世花岗斑岩(Middle Jurassic granite porphyry) ; $A\gamma J_2$ —中侏罗世细中粒碱长花岗岩(Middle Jurassic fine-medium-grained alkali feldspar granite) ; $\xi\gamma T_3$ —巨晶正长花岗岩(megacryst syenogranite) ; $\eta\gamma^{st} T_3$ —似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩(similar porphyritic fine-grained monzogranite) ; $\eta\gamma T_3$ —中粒二长花岗岩(medium-grained monzogranite) ; $\eta\gamma^{hs} T_3$ —似斑状粗中粒二长花岗岩(porphyraceous coarse medium-grained monzogranite) ;
 1—逆冲断层(reverse fault) 2—断层(fault)

并通过对 8 种成矿元素的研究, 总结成矿属性等问题.

1 地质因子分析方法及软件介绍

地质因子分析是地质统计分析中的常用方法之一^[1], 是在尽可能减少地质信息损失的前提下, 把众多具有错综复杂关系的地质观测因子(样品或变量)组合、归纳为极少数几个起主导作用的主因子, 进而分解叠加的地质过程、成因过程及分类研究等相关研究的一种多元统计分析方法. 在我国, 岩浆岩是因子分析的重要阵地之一, 利用因子分析可以识别岩浆岩的形成过程, 诸如岩浆岩的异源叠加或同期多源侵入、分异作用、同化作用、交代蚀变作用、矿化活动等, 还可用来进行岩浆岩的分类, 并赋予地质成因解释^[2].

目前 SPSS Statistics 软件在处理因子分析方面可以有较好的实现^[3], 本文即选用 SPSS Statistics V17.0 统计软件对数据进行处理, 统一纲量为 10^{-6} , 采用最大方差法进行因子降维, 按特征值大于 1 为标准提取主因子.

2 常量元素因子分析

在区内对各侵入岩单位进行随机取样, 共采集样品 79 件, 送国土资源部东北矿产资源监督检测中心进行了常量及微量元素的分析测试(数据略).

应用 SPSS Statistics 统计分析软件, 对常量测试数据等 19 个变量进行 R 型因子分析, 获得 R 型方差最大旋转载荷矩阵, 共提取 5 个主因子(表 1). 这 5 个主因子的累积方差贡献率达 86.5%, 基本上代表了敖兰敖日格地区侵入岩的绝大部分地质信息. 将各主因子中因子载荷绝对值大于 0.5 的变量按载荷大小排序如下(正、负号相当于因子轴的两端):

- F1 : $MgO+SI+FeO+TiO_2+Fe_2O_3+MnO+P_2O_5-A/MF$
- F2 : $A/CNK+DI+SiO_2-CaO-C/MF$
- F3 : $Al_2O_3+(Na_2O+K_2O)+K_2O+Na_2O-SiO_2$
- F4 : $Na_2O-K_2O-K_2O/Na_2O$
- F5 : AR

表 1 敖兰敖日格地区侵入岩常量元素 R 型方差最大旋转因子载荷矩阵

Table1 R-mode factor loading matrix of major elements of intrusive rocks in Aolanaoorige area

变量	F1	F2	F3	F4	F5	公因子方差
Na ₂ O		-0.256	0.553	0.792		0.953
MgO	0.875		0.255			0.907
Al ₂ O ₃			0.954			0.991
SiO ₂	-0.265	0.647	-0.684			0.981
P ₂ O ₅	0.492		0.302	0.346		0.481
K ₂ O			0.645	-0.669	0.321	0.972
CaO	0.054	-0.974	-0.068	-0.066	-0.180	0.994
TiO ₂	0.769		0.349	0.302		0.818
MnO	0.587		0.311	0.520		0.725
FeO	0.785	0.041				0.639
Fe ₂ O ₃	0.704				-0.337	0.626
Na ₂ O+K ₂ O			0.917		0.332	0.981
K ₂ O/Na ₂ O				-0.959		0.921
DI	-0.367	0.816			0.412	0.989
A/CNK		0.876		-0.270	-0.324	0.958
SI	0.823	-0.378				0.832
AR		0.318			0.884	0.932
A/MF	-0.829					0.733
C/MF		-0.978				0.996
特征值	6.299	4.159	2.592	2.244	1.136	
方差贡献	24.713	21.766	17.838	14.022	8.132	
累积方差贡献/%	24.713	46.479	64.317	78.339	86.471	

主因子 F1 正端高载荷变量为 MgO、FeO、TiO₂ 等, 为花岗岩中典型的基性组分. 其中以 MgO 的载荷值最

高, 达 0.875, 因此主因子 F1 代表了岩浆的基性端元, 且对镁基度的体现尤为明显, 同时处于正端的岩浆固结指数 SI 表明了岩浆的基性程度, F1 负端 A/MF 具有较高的载荷(-0.829), 体现了反相关关系。

主因子 F2 正端高载荷变量 SiO_2 代表了岩浆的酸性程度, 而同样位于正端元的岩浆分异指数 DI 反应了岩浆分异演化的程度, 亦反映了酸性程度的高低, 负端高载荷变量 CaO 及 C/MF 的载荷绝对值分别高达 0.974 和 0.978, 远大于正端 SiO_2 的载荷 0.647, 因此认为该主因子对 CaO 变化具有更大比重的体现。 SiO_2 和 CaO 的载荷符号相反, 体现了二者的反相关关系。钙是随岩浆演化流失比较明显的, 反映了岩体结晶分异作用的强度。

F1、F2 主因子可关联岩浆演化趋势, 二者方差贡献分别占总方差的 24.713% 和 21.766%, 累积达 46.479%, 是控制岩浆演化和发展的主导因素。

主因子 F3 上高载荷的变量为 Al_2O_3 (0.954)、 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (0.917) 和 SiO_2 (-0.684)。该因子正端代表了岩浆的铝质和碱质分异, 负端代表了岩浆的酸性程度。

主因子 F4 上高载荷变量为 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 、 Na_2O 和 K_2O , 代表岩浆的碱质。该因子中 Na_2O 和 K_2O 具有相反的符号, 表明了二者的反相关关系, 表明岩浆中 Na_2O 增加时, K_2O 相对减少, 反之亦然。它们增加与减少的过程即是岩浆演化的过程。其中 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 的载荷绝对值高达 0.959, 远大于其他变量的载荷, 所以该主因子对 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 的体现更为明显。

主因子 F5 中高载荷变量 AR 是描述岩浆碱性程度的一个指标。所以, 该因子代表了岩浆的碱度。

通过计算, 获得了各样品在各主因子上的因子得分(表 2)。因子得分反映了各个样品在不同的主因子(即地质成因关联)中的权重, 因此可根据各主因子的地质成因关联绘制主因子的因子得分座标平面图, 根据图中样品点的分布特征总结不同时期岩体的变化特点等信息。

图 2 为主因子 F1-F2 因子得分的座标平面图。依据前文所述, F1 主因子轴的正端代表了岩浆的基性程度, 与镁基度的关联尤为明显; F2 主因子轴正端代表了岩浆的酸性程度, 负端与 CaO 明显关联。根据测试数据求得各岩体的分异指数 DI 的平均值(表 3), 均大于 90, 表明岩浆分异演化均较彻底, 酸性程度均比较高。从图中不同侵入岩样品点的分布情况看, 岩体由老到新, 即 $\eta\gamma^{\text{bz}}\text{T}_3 \rightarrow \eta\gamma\text{T}_3 \rightarrow \eta\gamma^{\text{bx}}\text{T}_3 \rightarrow \xi\gamma\text{T}_3 \rightarrow \text{A}\gamma\text{J}_2 \rightarrow \gamma\pi\text{J}_2$,

岩浆的酸性程度具有由大→大→小→大→大→大的变化规律。其中似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩($\eta\gamma^{\text{bx}}\text{T}_3$)的钙、镁等基性组分含量较其他岩体明显高, 而 DI 值也显示其分异演化不如其他岩体彻底。

图 3 中 F3 主因子轴的正端代表了岩浆碱性程度, 负端代表了岩浆酸性程度; F5 主因子轴正端代表了岩浆的碱度率 $\text{AR} = [\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] / [\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$ 。因此, 此图可反映各岩体碱性程度的变化规律, 岩体由老到新碱性程度具有由大→大→小→大→大→大的变化特点。其中中粒二长花岗岩($\eta\gamma\text{T}_3$)的碱性程度最高, 似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩($\eta\gamma^{\text{bx}}\text{T}_3$)碱性程度明显低于其他岩体。

图 4 中 F3 主因子轴的地质关联前文已述, F4 主因子轴正端代表了岩浆富钠程度, 负端代表了 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 的大小亦即富钾程度。由于 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 的因子载荷绝对值为 0.959, 远大于其他变量的载荷, 因此可利用该图分析各岩体钾钠比值变化特点。图中样品点分布特点显示, 各侵入岩由老到新 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 具有大→大→小→大→大→小的变化规律。

综上, 杜尔基岩体的中粒二长花岗岩较其他岩体更富碱性, 图 2、3、4 中, 中粒二长花岗岩的样品点的分布明显不同于其他岩体样品点的分布, 具有分布较分散且跨度较大的特点。区内中粒二长花岗岩的分布表现出受布敦化牧场二连-石场山构造带的明显控制, 其岩石结构也与其他侵入岩不同。这些特征, 反映在晚三叠世受布敦化牧场二连-石场山构造带控制, 可能在断裂带北西侧及南东侧分别形成了两个不同的岩浆源区。敖兰敖日格解体的三大岩体由老到新, 酸性程度、碱性程度及 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值均具有由大变小的规律, 其中似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩的酸性程度较小, 镁、钙等组分较似斑状粗中粒二长花岗岩和巨晶正长花岗岩高。通过前文分析, 该岩体结晶分异不如其他侵入岩彻底。而似斑状粗中粒二长花岗岩和巨晶正长花岗岩在图 2、3、4 中的样品点分布区间基本相同。侏罗世花岗斑岩和中粒碱长花岗岩的结晶分异程度较三叠世侵入岩高。

3 成矿元素因子分析

依前文所述, 研究区内侵入岩以晚三叠世侵入岩为主, 侏罗世花岗斑岩和细粒碱长花岗岩出露面积较小, 因此本文主要针对晚三叠世侵入岩的 8 种成矿元素 Cu、Pb、Zn、Ag、W、Sn、Mo、Au 进行分析讨论。

测试数据显示, 敖兰敖日格岩体解体的 3 个岩体

表 3 敖兰敖日格地区侵入岩 DI 平均值一览表

Table 3 Average DI values of the intrusive rocks in Aolanaorige area

岩体	$\eta\gamma^{kz}T_3$	$\eta\gamma T_3$	$\eta\gamma^{ks}T_3$	$\xi\gamma T_3$	$A\gamma J_2$	$\gamma\pi J_2$
样品个数	16	21	27	5	3	7
DI 平均值	91.34	94.07	91.56	93.61	94.24	94.96

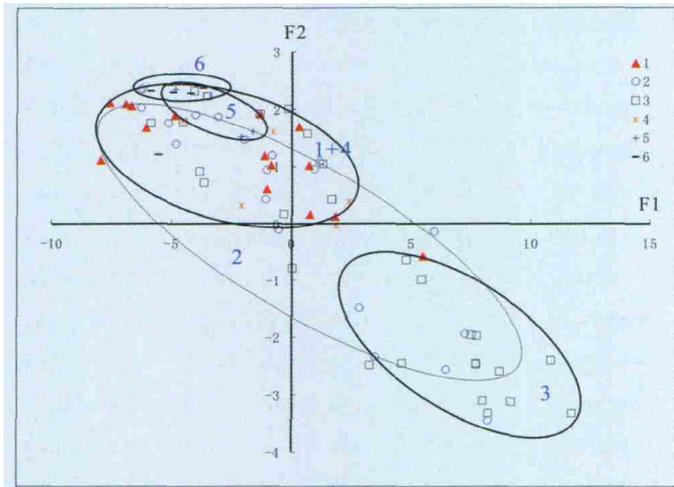


图 2 敖兰敖日格地区侵入岩岩石化学成分 R 型因子分析 F1 和 F2 因子得分坐标平面图

Fig. 2 F1 vs. F2 of R-mode factor scores for the intrusive rocks in Aolanaorige area

1— $\eta\gamma^{kz}T_3$ 2— $\eta\gamma T_3$ 3— $\eta\gamma^{ks}T_3$ 4— $\xi\gamma T_3$ 5— $A\gamma J_2$ 6— $\gamma\pi J_2$

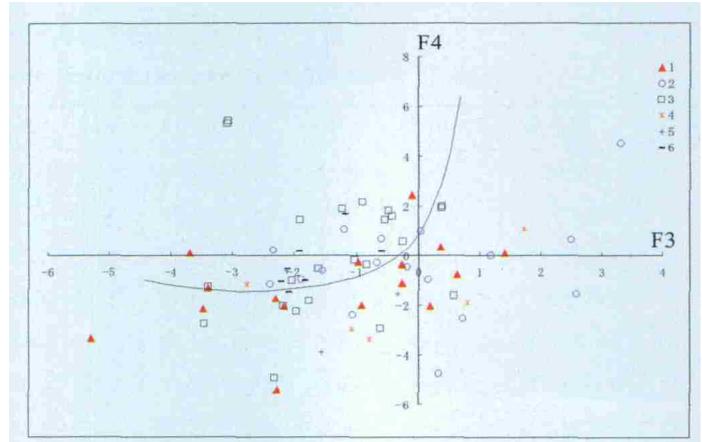


图 4 敖兰敖日格图幅侵入岩岩石化学成分 R 型因子分析 F3 和 F4 因子得分坐标平面图

Fig. 4 F3 vs. F4 of R-mode factor scores for the intrusive rocks in Aolanaorige area

1— $\eta\gamma^{kz}T_3$ 2— $\eta\gamma T_3$ 3— $\eta\gamma^{ks}T_3$ 4— $\xi\gamma T_3$ 5— $A\gamma J_2$ 6— $\gamma\pi J_2$

表 4 敖兰敖日格岩体成矿元素相关系数

Table 4 Correlation coefficients of ore-forming elements in Aolanaorige area

元素	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Mo	Au	Ag
Cu	1							
Pb	0.06	1						
Zn	0.16	0.31	1					
W	-0.20	0.44	0.18	1				
Sn	-0.24	0.54	0.10	0.35	1			
Mo	0.44	-0.16	0.13	-0.07	-0.23	1		
Au	-0.03	-0.14	0.37	-0.03	-0.15	-0.09	1	
Ag	0.19	0.34	0.65	0.19	0.08	0.03	0.13	1

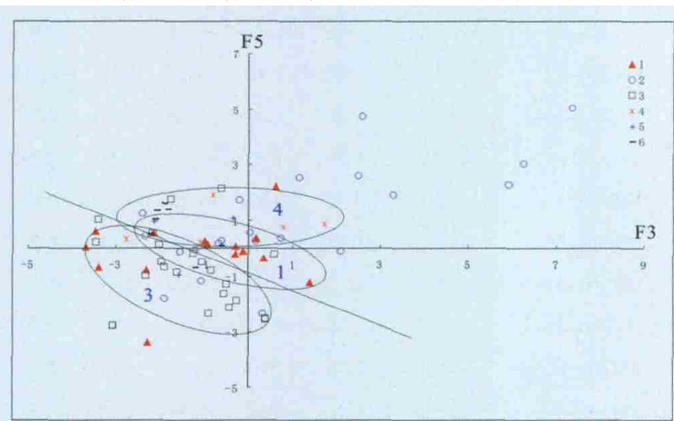


图 3 敖兰敖日格地区侵入岩岩石化学成分 R 型因子分析 F3 和 F5 因子得分坐标平面图

Fig. 3 F3 vs. F5 of R-mode factor scores for the intrusive rocks in Aolanaorige area

1— $\eta\gamma^{kz}T_3$ 2— $\eta\gamma T_3$ 3— $\eta\gamma^{ks}T_3$ 4— $\xi\gamma T_3$ 5— $A\gamma J_2$ 6— $\gamma\pi J_2$

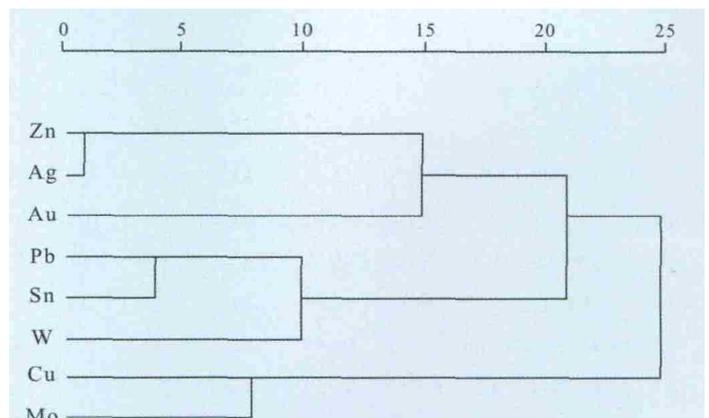


图 5 敖兰敖日格岩体成矿元素 R 型聚类图

Fig. 5 R-mode cluster analysis of ore-forming elements in Aolanaorige area

均具有富 Sn、W、Pb、Ag 元素，Au、Mo 含量相对偏高，贫 Cu 的特点。因此以岩体为整体分析了元素的相关系数(表 4) 并做了聚类分析(图 5)和因子分析(表 5)。

敖兰敖日格岩体内 58 个样品 8 种成矿元素相关系数数据见表 4。根据自由度查表获得一次检验在 1% 水平上具统计学意义的相关系数数值为 0.306，所以选

取相关系数大于该值的数据进行分析。数据显示：该岩体内 Zn 与 Ag 为显著相关，相关系数为 0.65，Pb 与 Sn、W、Ag、Zn 中度相关，相关系数分别为 0.54、0.44、

表 5 敖兰敖日格岩体 R 型最大方差正交旋转因子载荷矩阵
Table 5 R-mode orthogonal rotation factor loading matrix of the Aolanaorige intrusive rocks

因子	F1	F2	F3	公因子方差
Pb	0.842	0.190	0.059	0.749
Sn	0.764	-0.062	-0.253	0.652
W	0.658	0.136	-0.150	0.474
Zn	0.218	0.863	0.165	0.819
Ag	0.323	0.721	0.237	0.680
Au	-0.389	0.700	-0.336	0.754
Cu	-0.100	0.144	0.819	0.702
Mo	-0.160	0.006	0.784	0.640
方差贡献/%	25.806	22.916	19.656	
累积贡献/%	25.806	48.723	68.378	

0.34、0.31，Cu 与 Mo 中度相关，相关系数为 0.44，与 W、Sn 元素存在着弱的反消长关系。

R 型聚类分析是从数字分类角度研究元素在成矿活动中地球化学行为相似程度的一种有效方法。通过聚类分析研究，可以得出元素组合特征，判断元素之间亲疏关系，有助于矿化阶段的划分、成矿元素迁移和富集的判断以及矿床成因问题的研究^[4]。对敖兰敖日格岩体内 58 个样品 8 种成矿元素的原岩光谱数据进行了 R 型聚类分析，聚类分析图(图 5)显示，在 $\gamma=15$ 的相似水平上，成矿元素明显分成了 3 类，即：①Zn、Ag、Au；②Pb、Sn、W；③Cu、Mo。各类之间相关性较低。

应用 SPSS 软件对 58 个样品 8 种元素进行了因子分析，获得最大方差正交旋转载荷矩阵(图 5)，共提取了 3 个主因子，即 F1：Pb、Sn、W、Ag、-Au；F2：Au、Zn、Ag；F3：Cu、Mo、-Au、-Sn。

F1 主因子代表了中高温元素组合，总体显示了 Pb、Ag、Sn、W 元素的富集和 Au 亏损的特点，这与敖兰敖日格岩体富集 Sn、W、Pb、Ag 元素的特征吻合。其中 Sn 和 W 为亲石元素，多以类质同像形式存在于造岩矿物和副矿物中；Pb、Ag 为亲硫元素，多以硫化物形式沉淀富集；Au 为亲铁元素。综合 W、Sn、Pb、Ag 的不相容性(亲岩浆)，认为该主因子内元素由固相部分熔融进入熔体或熔液中，在温压等条件合适的情况下，Sn、W 和 Pb、Ag 分别以各自的方式沉淀富集，而 Au 元素仍保留在热液中。F2 公因子代表了中低温元素组合，说明前文所述的 Au 元素直至低温阶段才沉淀，同时体现了 Au 和 Zn、Ag 的共生关系。F3 代表了高温元素组合，体现了 Cu、Mo 的富集和 Au、Sn 的亏损。3 个公因子高、中温元素的叠加显示了岩体侵入多期多源的

特点。Sn 在 F3 的贫化及在 F1 的富集显示了 Sn 元素由高温热液向中高温热液迁移的特点，同样可以看出 Au 元素由高温热液向中低温迁移。

计算 58 个样品在 3 个主因子上的因子得分(数据略)，绘制 F1-F3 因子得分坐标平面图(图 6)。图中样品点的分布具有明显的分区，依据 F1 和 F3 主因子的组成及其成因关联，可总结各岩体成矿元素的富集情况：似斑状粗中粒二长花岗岩主要富集 Au、Pb、Ag；似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩富集 Pb、Ag、W、Sn 和 Au；巨晶正长花岗岩富集 Cu、Pb、Ag、Mo、Au。由于两主因子轴正端均代表中高温成矿元素组合，负端均代表中低温成矿元素组合，表明由正端到负端，成矿温度由中高温向中低温变化，因此可以借此总结各岩体的成矿温度变化规律。由各样品点的分区情况来看，似斑状粗中粒二长花岗岩的成矿温度明显低于另两种岩体。

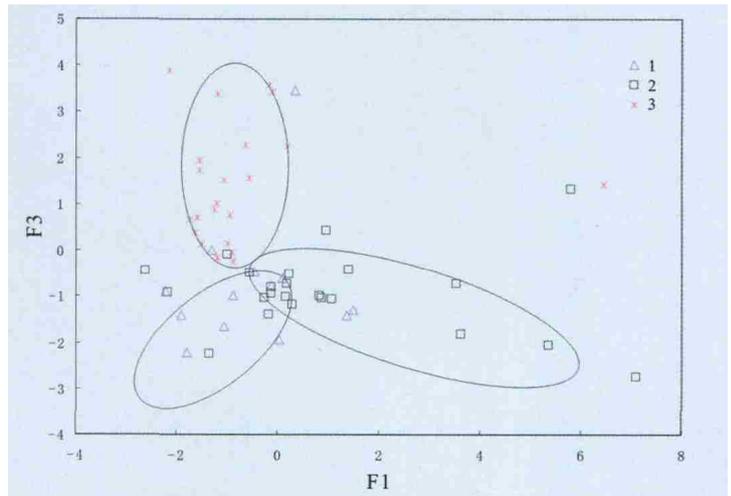


图 6 敖兰敖日格地区侵入岩成矿元素 R 型因子分析 F1 和 F3 因子得分坐标平面图

Fig. 6 F1 vs. F3 of R-mode factor scores of ore-forming elements in Aolanaorige area
1— $\eta\gamma^{hs}T_3$ 2— $\eta\gamma^{hs}T_3$ 3— $\xi\gamma T_3$

F1 和 F2 因子得分坐标平面图(图 7)显示：似斑状粗中粒二长花岗岩主要富集 Pb、Ag、Zn、Au；似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩富集 Pb、Ag、Zn；巨晶正长花岗岩富集 Au、Ag、Zn。

F2 和 F3 因子得分坐标平面图(图 8)显示：巨晶正长花岗岩相对富集 Cu 和 Mo，而似斑状粗中粒二长花岗岩和似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩相对更富集 Au。

综上，似斑状粗中粒二长花岗岩主要富集 Pb、Ag、Zn、Au 等中低温成矿元素，其成矿温度较另两岩体明

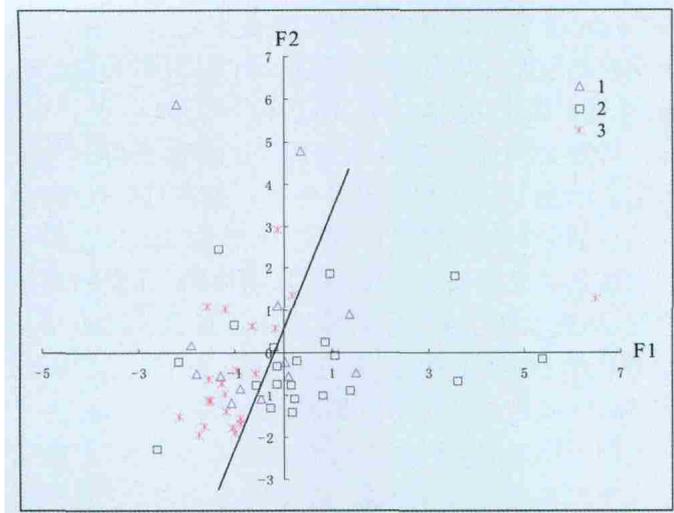


图 7 敖兰敖日格地区侵入岩成矿元素 R 型因子分析 F1 和 F2 因子得分坐标平面图

Fig. 7 F1 vs. F2 R-mode factor scores of ore-forming elements in Aolanaoige area

1— $\eta\gamma^{kz}T_3$ 2— $\eta\gamma^{ks}T_3$ 3— $\xi\gamma T_3$

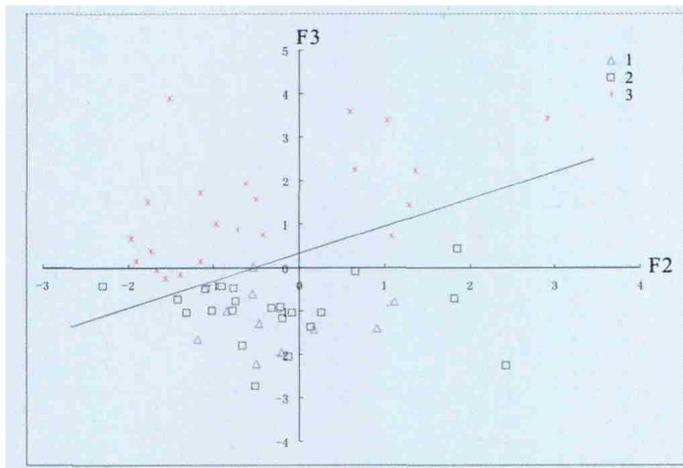


图 8 敖兰敖日格地区侵入岩成矿元素 R 型因子分析 F2 和 F3 因子得分坐标平面图

Fig. 8 F2 vs. F3 of R-mode factor scores of ore-forming elements in Aolanaoige area

1— $\eta\gamma^{kz}T_3$ 2— $\eta\gamma^{ks}T_3$ 3— $\xi\gamma T_3$

显较低,似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩富集 Pb、Ag、Zn、W、Sn、Au; 巨晶正长花岗岩富集 Cu、Pb、Mo、Au、Ag、Zn。

区内中粒二长花岗岩($\eta\gamma T_3$)为 1:20 万区调划分的杜尔基岩体的主体部分,岩体具有富 Sn、Pb、W、Ag, 贫 Cu 的特点,Mo 和 Au 含量相对偏高。

随机采集样品 15 个,经相关分析获得相关系数数据(表6),查表获得一次检验在 5%水平上的具有统计意义的相关系数为 0.442。数据显示:Ag 与 Pb、Zn 显著相关,相关系数为 0.95、0.94;Pb 和 Zn 显著相关,系数为

表 6 中粒二长花岗岩成矿元素相关系数

Table 6 Correlation coefficients of ore-forming elements of the medium-grained monzogranite

元素	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Mo	Au	Ag
Cu	1							
Pb	0.33	1						
Zn	0.55	0.18	1					
W	0.26	0.25	0.59	1				
Sn	-0.01	-0.17	0.04	0.29	1			
Mo	0.52	-0.11	-0.13	-0.29	-0.25	1		
Au	0.45	-0.02	0.39	0.44	0.50	0.01	1	
Ag	0.42	0.95	0.94	0.44	-0.12	-0.18	0.17	1

0.81; Cu 与 Zn、Mo 中度相关,系数为 0.55、0.52。Zn 与 W、Sn 与 Au 中度相关,相关系数分别为 0.59 和 0.50。

聚类分析结果(图 9)显示在 $\gamma=16$ 的相似水平上,成矿元素明显分成了 3 类,即①Pb、Ag、Zn 和 W; ②Sn 和 Au; ③Cu 和 Mo。

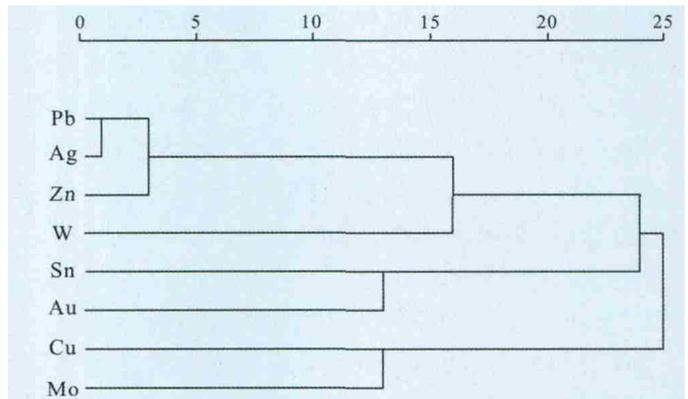


图 9 中粒二长花岗岩($\eta\gamma T_3$)成矿元素 R 型聚类图

Fig. 9 R-mode cluster analysis of ore-forming elements of the medium-grained monzogranite

通过因子分析得到中粒二长花岗岩($\eta\gamma T_3$)最大方差正交旋转载荷矩阵(表 7),提取 3 个主因子,即 F1: Ag、Pb、Zn、W、Cu、(-Mo、-Sn); F2: Au、Sn、W、(Zn、Cu、-Mo); F3: Mo、Cu、(Au、-Sn)。

F1 公因子代表中温成矿元素组合,中温热液富集 Ag、Pb、Zn、W 和 Cu,亏损 Mo 和 Sn(已于较高温度时进入固相),利于 Pb、Zn、Ag 等在构造有利部位成矿; F2 和 F3 公因子均代表了高温成矿元素组合,且具有 Au、Sn、Cu、Mo 多元素的叠加,显示了岩浆的多源性。由于高温阶段 Sn、Mo 已沉淀富集,所以 F1 中显示了两种元素的亏损。

4 结论

1)由 1:20 万区调划分的敖兰敖日格岩体解体的

表7 中粒二长花岗岩 R 型最大方差正交旋转因子载荷矩阵

Table 7 R-mode orthogonal rotation factor loading matrix of the medium-grained monzogranite

因子	F1	F2	F3	公因子方差
Ag	0.991	0.040	0.019	0.984
Pb	0.939	-0.154	0.006	0.905
Zn	0.931	0.288	0.125	0.965
Au	0.111	0.847	0.290	0.813
Sn	-0.180	0.809	-0.198	0.727
W	0.480	0.631	-0.133	0.646
Mo	-0.199	-0.211	0.904	0.901
Cu	0.417	0.263	0.808	0.897
方差贡献/%	40.240	24.898	20.339	
累积贡献/%	40.240	65.138	85.477	

似斑状粗中粒二长花岗岩、似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩及巨晶正长花岗岩的酸性程度、碱性程度和 K_2O/Na_2O 比值均具有由大→小→大的变化规律。

2) 似斑状粗中粒二长花岗岩主要富集 Pb、Ag、Zn、Au 等中低温成矿元素, 据因子分析结果, 其成矿温度较似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩、巨晶正长花岗岩明显偏低。

3) 似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩的钙、镁等组分较似斑状粗中粒二长花岗岩和巨晶正长花岗岩高, 结晶分异程度不如后二者彻底。该岩体富集 Pb、Ag、Zn、W、Sn、Au 等中高温成矿元素, 该岩体南、北两侧侵入下寒武纪浅变质岩系, 在构造有利部位可以形成同期 Sn、W、Au 矿产, 如在该图幅东缘, 似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩与下寒武纪接触, 在后者的变质砂岩

内发现必鲁图铜锡矿点。另外岩体可以作为物源为后期成矿作用提供成矿物质。

4) 巨晶正长花岗岩主要富集 Cu、Pb、Mo、Au、Ag、Zn, 较似斑状粗中粒二长花岗岩和似斑状细粒(细中粒)二长花岗岩富 Cu 和 Mo。

5) 由 1:20 万区调划分的杜尔基岩体的主体部分中粒二长花岗岩, 在常量元素因子分析得分平面图中, 样品点的分布特点明显不同于该图幅其他侵入岩, 具有分布散和跨度大的特点, 较其他岩体更富碱性, 印证了其敖兰敖日格岩体具有不同的岩浆源区。成矿元素统计分析数据显示, 其岩浆来源具有多源性。

6) 侏罗世花岗斑岩和中粒碱长花岗岩在区内出露较少, 酸性程度较高, 岩浆结晶分异程度也较高。

致谢: 本文在撰写过程中获得沈阳地质调查中心区调项目的支持; 野外工作中, 得到刘世伟主任(教授级高工) 倾心指导; 李之彤研究员对本文进行了细心审阅并提出了宝贵意见, 在此致以衷心感谢!

参考文献:

- [1] 孙华山, 赵鹏大, 张寿庭, 等. 因子分析在成矿多样性定量研究中的应用——以滇西北富碱斑岩矿产类型成矿多样性分析为例[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2005, 32(1): 82—86.
- [2] 余金生, 李裕伟. 地质因子分析[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [3] 阳正熙, 吴堃虹, 彭直兴, 等. 地学数据分析教程[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计测(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 1994.