

辽宁宽甸万宝源斑岩型钼矿微量元素地球化学特征

李 明,周立文,孙立军,王春暖

(辽宁省有色地质局 106 队,辽宁 铁岭 112001)

摘 要 :宽甸万宝源斑岩型钼矿近年找矿工作取得了突破,已由小型矿山转化为中型矿山,成为辽东地区最主要的钼矿生产基地。通过对花岗闪长岩、石英斑岩、闪长玢岩、夕卡岩和大理岩的微量元素地球化学特征分析,将其按照相关富集程度通过 R 型聚类分析划分为 5 类:① Au、Bi、Cu; ② Pb、As、Sn、Sb、Ag; ③ Co、Ni、Mn、Cr; ④ Mo、W; ⑤ Zn、Hg。因子分析也验证了以上分类的正确性。结合区域地质及矿床特征,夕卡岩中富集 Au、Cu 成矿元素,花岗闪长岩和石英斑岩富集 Mo 成矿元素,①④ 分类可作为寻找这些矿产资源的地球化学证据。

关键词 :钼矿;微量元素;R 型聚类分析;地球化学;万宝源;辽宁省

TRACE ELEMENT GEOCHEMISTRY OF WANBAOYUAN PORPHYRY MOLYBDENUM DEPOSIT IN LIAONING PROVINCE

LI Ming, ZHOU Li-wen, SUN Li-jun, WANG Chun-nuan

(No. 106 Team, Liaoning Bureau of Geoexploration for Nonferrous Metals, Tieling 112001, Liaoning Province, China)

Abstract : With the prospecting breakthrough in recent years, the Wanbaoyuan porphyry molybdenum deposit in Liaoning Province enlarges from small-size to middle-size, becoming the most important Mo production base. Trace element geochemical data are analyzed for granodiorite, quartz porphyry, diorite porphyry, skarn and marble. Five element groups are divided in virtue of R-mode cluster analysis: 1) Au-Bi-Cu; 2) Pb-As-Sn-Sb-Ag; 3) Co-Ni-Mn-Cr; 4) Mo-W; and 5) Zn-Hg. The division is verified also by factor analysis. Based on the characteristics of geology and deposit, the ore elements of Au and Cu enrich in skarn, while Mo enrich in granodiorite and quartz porphyry. The element groups of Au-Bi-Cu and Mo-W can be used as directors for the exploration of such deposits.

Key words : molybdenum deposit; trace element; R-mode cluster analysis; Geochemistry; Wanbaoyuan of Liaoning Province

万宝源斑岩型钼矿位于辽宁省丹东市宽甸县振江镇万宝村,是目前辽东地区最重要的钼矿生产基地。该矿自 20 世纪 50 年代发现以来,陆续开展了不同程度的地质勘探工作,但直到 21 世纪初,矿山通过与辽宁省有色地质局 106 队合作,才使矿山规模由小型变为中型。近年的研究多集中于对矿床的地质特征及矿床成因的探讨^[1-3],而最为基础的微量元素则缺乏系统的工作。笔者试图以不同地质体的微量元素地球化学特征为突破口,总结元素在不同地质体中的分布规律,从而为成矿作用的研究及未来找矿勘探提供参考。

1 成矿区域地质背景

万宝源斑岩型钼矿位于辽东裂谷东端的中央凹陷区北侧,紧靠鸭绿江深大断裂西侧,属近几年划分的万宝-桓仁多金属成矿带之万宝-张家堡子成矿亚带^[4]。

区域出露地层复杂,其中大面积出露古元古界辽河群地层,以盖县组最为发育,岩性为黑云斜长变粒岩、黑云斜长片麻岩、闪长岩和大理岩。新元古界青白口系钓鱼台组和南芬组分布于矿区北部和西北部,前者为石英岩和石英砂岩,后者主要为页岩,并有厚度不一的泥灰岩夹层。另外,在矿区周边零星出露古生界寒武系—奥陶系地层,以碳酸盐岩为主,常夹页岩、砂岩。

收稿日期:2010-11-22;修回日期:2011-01-04;编辑:李兰英。

作者简介:李明(1963—),男,黑龙江人,工程师,主要从事地球化学勘查工作,E-mail:tielinghuatan@126.com

中生界侏罗系小岭组火山岩在负地形中也偶有出露(图 1)。

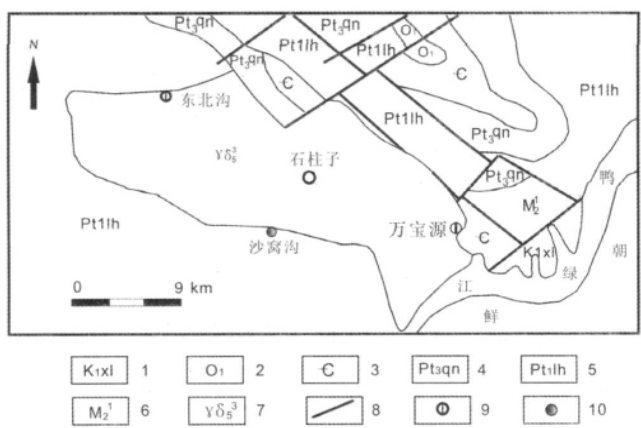


图 1 万宝源斑岩型钼矿区域地质图

Fig. 1 Regional geologic map of Wanbaoyuan Mo deposit

1—下白垩统小岭组(Lower Cretaceous Xiaoling fm.);2—下奥陶统(Lower Ordovician);3—寒武系(Cambrian);4—新元古界青白口系(Neoproterozoic Qingbaikou sys.);5—古元古界辽河群(Paleoproterozoic Liaoh group);6—古元古代花岗岩、花岗片麻岩(Paleoproterozoic granite and granite-gneiss);7—中生代花岗闪长岩(Mesozoic granodiorite);8—断裂(fault);9—铜钼矿(Cu-Mo deposit);10—金矿(Au deposit)

区域基底构造为近东西向复背斜,北侧出露一北西向曹家沟向斜,主要由新元古界—古生界不同地层组成,被后期断裂破坏严重,部分地段呈单斜。断裂构造在本区颇为发育,东侧即为北东向鸭绿江深大断裂,另有许多次级北东向断裂与之平行,北西向断裂也较为发育,主要有砬子沟—高家沟断裂和钓鱼台—大清沟断裂。这些断裂均可归入鸭绿江断裂系,是鸭绿江断裂长期受北西—南东向强烈挤压应力派生的结果。

区域出露岩浆岩主要为燕山晚期石柱子花岗闪长岩,为一遭受中浅层剥蚀的小岩基,平面上总体呈椭圆形,走向北西,长约 18 km,宽约 7 km,面积达 100 km²。U—Pb 同位素年龄值为 130 Ma^[5],岩石类型主要为花岗闪长岩、二长花岗岩。脉岩以闪长玢岩为主,其次有伟晶岩、花岗斑岩、石英斑岩和煌斑岩。

2 矿床地质特征

以石柱子花岗闪长岩体为中心,沿其与地层的接触部周围形成有不同成因类型的多金属矿床(点),包括斑岩型钼矿、夕卡岩型铜铁矿及主要分布于围岩中的热液脉型金矿。万宝源钼矿就是其中之一,目前已发现主要工业钼矿体 17 条,容矿围岩为花岗闪长岩和石英斑岩。其中石英斑岩内发育浸染状、细脉充填

状钼矿体,花岗闪长岩内除发现上述两者外,还发育一种最具工业价值的石英脉型钼矿体。石英脉型钼矿体一般延长几十米至几百米,个别可达千余米,宽多为 0.1~2.0 m。矿体走向近南北,倾向东,倾角 30~70°。辉钼矿体与石英细脉相间排列,并常常为后期方解石细脉截断穿插。围岩蚀变明显,主要为硅化、绿泥石化、绢云母化和碳酸盐化。

矿石矿物主要是辉钼矿,另有极少量黄铁矿和黄铜矿存在。脉石矿物为石英、绢云母、绿泥石、方解石。矿石结构为叶片状、长柱状、蠕虫状和粒状,构造为脉状、网脉状和细脉充填状。浸染状钼矿体品位一般为 0.017%~2.42%,平均 0.13%;石英脉型钼矿体品位一般为 0.11%~1.79%,平均 0.61%。前者比后者有着更大的容矿空间,而后者比前者有着更为集中的富钼矿体产出。

3 微量元素地球化学特征

对矿区内的花岗闪长岩、石英斑岩、闪长玢岩、大理岩和夕卡岩 5 种岩石的微量元素地球化学资料进行了整理分析,样品分别采自钻孔及地表剖面,对分析数据进行了基础地球化学统计分析、R 型聚类分析和因子分析。从不同角度探讨该矿区成矿元素及伴生元素地球化学变化规律、相关性,进而推断成矿过程中元素的迁移、富集特征,以更好地理解矿床成因机制。

表 1 微量元素数理统计

Table 1 Basic geochemical statistics of microelements

元素	平均值	最小值	最大值	极差	方差	标准差
Au	5.07	0.90	460.00	459.10	32.20	5.67
Ag	0.13	0.04	5.50	5.46	0.33	0.58
Co	12.50	0.50	300.00	299.50	30.58	5.53
Cr	33.04	3.60	365.00	361.40	46.41	6.81
Cu	50.91	4.72	2676.67	2671.95	162.83	12.76
Mn	1246.78	47.00	26000.00	25953.00	2873.87	53.61
Ni	23.58	1.30	360.00	358.70	44.76	6.69
Pb	33.15	13.33	371.74	358.41	24.34	4.93
Zn	93.20	5.38	873.29	867.91	109.57	10.47
Mo	128.44	0.20	6840.00	6839.80	460.86	21.47
W	18.23	1.20	380.00	378.80	37.49	6.12
Sn	4.53	0.40	180.00	179.60	14.06	3.75
As	2.43	0.21	31.67	31.46	2.92	1.71
Sb	0.25	0.06	4.27	4.21	0.28	0.53
Bi	1.96	0.03	140.84	140.81	10.21	3.19
Hg	0.02	0.01	0.07	0.07	0.01	0.10

Au 单位为 10⁻⁹,其他元素单位均为 10⁻⁶。

3.1 微量元素数理统计

对采自不同岩石的 399 件样品微量元素地球化学特征进行了归纳总结(表 1). 从表 1 中可以看出除 Hg 外,其他微量元素都有着相对较大的极差,显示这些元素在不同的地质体中含量均一性较差. 为了更好地理解微量元素在不同地质体中的含量差异,对 5 种岩石的微量元素特征分别进行了统计. 结果显示 Au 在大理岩中的极差最大,达 459.10×10^{-9} ,平均值 47.86×10^{-9} ,在夕卡岩中的平均值也较高,达 14.58×10^{-9} ,而在其余 3 种岩石中的平均值均介于 $1\times 10^{-9}\sim 2\times 10^{-9}$ 之间. Mo 在花岗闪长岩和石英斑岩中的平均值分别为 296.54×10^{-6} 和 162.72×10^{-6} ,在闪长玢岩和夕卡岩中平均含量分别为 7.18×10^{-6} 和 3.72×10^{-6} ,在大理岩中的含量最低,只有 0.53×10^{-6} ,表明花岗闪长岩和石英斑岩对 Mo 成矿更为有利.

3.2 R 型聚类分析

根据万宝源钼矿区的微量元素分析结果进行 R 型聚类分析^[6],以研究各元素间的共生组合关系.

图 2 是样品的 R 型聚类分析结果. 从图中可以看出,在距离系数为 15 的情况下,微量元素大致可以分为 5 类:① Au、Bi、Cu;② Pb、As、Sn、Sb、Ag;③ Co、Ni、Mn、Cr;④ Mo、W;⑤ Zn、Hg. 聚类分析结果表明,不同种类的微量元素因地球化学性质、物理、化学环境的差异而富集于不同地质体,形成不同种类的矿物. 某些元素常常构成特定的共生组合,成为勘查地球化学寻找某些矿产资源的依据. 据文献^[7],第③类 Co、Ni、Mn、Cr 4 种元素均属于岩浆场元素,常来自地球内部,在重熔-结晶过程中,进入硅酸盐矿物中或形成副矿物. 其余 4 类则属于热液场元素,常常富集于岩浆结

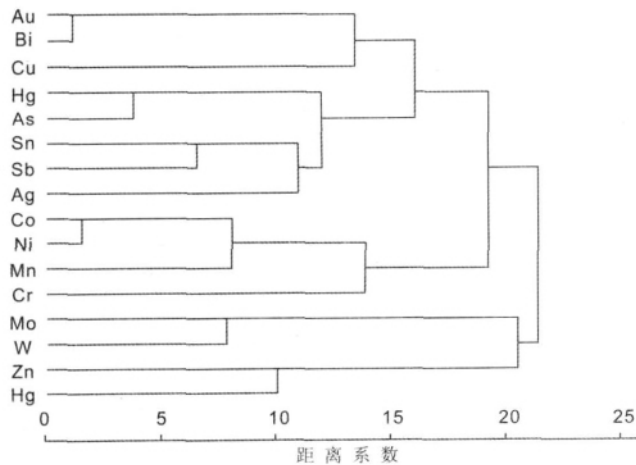


图 2 R 型聚类分析谱系
Fig. 2 Spectrum of R-mode cluster analysis

晶之后的气水热液中,多形成以硫化物为矿物形式的矿床. 根据万宝源矿区的地质特征,Au 和 Cu 常常富集于夕卡岩中,形成夕卡岩型铜金矿床,Mo 只以辉钼矿矿物形态存在,伴生金属矿物极少,W 的化学性质与之相近,常常与之伴生,但在本矿区中没有单独的 W 矿体产出. 以上①④元素分类可以作为在本矿区寻找 Mo、Au、Cu 等矿体的地球化学指示元素依据.

3.3 因子分析

因子分析是主成分分析的延续,以因子相关矩阵为出发点,找出若干对这些因子起支配作用的独立新因子来表征所有的分析数据,每一种独立的新因子都反映了一组元素的共生组合关系. 根据各因子累计方差贡献确定公共因子的数目,研究其内部结构特征,发现其与矿化的关系.

对原始数据进行变换处理,并做方差正交旋转,结果见表 2. 根据因子分析的主因子解,按累计方差贡献大于 75% 的标准入选主因子. 可抽取 7 个因子,其累计方差占总方差的 76.47%. 可以看出区域微量地球化学元素经历了 Mn、Pb、As 富集(因子 1),Co、Cr、Ni 富集(因子 2),Au、Ag 富集(因子 3),Sn、Sb 富集(因子 4),Mo、W 富集(因子 5),Zn、Hg 富集(因子 6),

表 2 R 型因子分析结果(正交旋转因子矩阵)

Table 2 Result of R factor analysis (normal rotated factor matrix)

元素	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6	因子 7
Au	0.025	-0.014	0.951	0.032	0.012	-0.059	0.075
Ag	0.124	-0.008	0.837	0.088	0.056	0.038	0.065
Co	0.506	0.686	-0.058	-0.123	0.056	-0.155	0.284
Cr	-0.284	0.758	-0.004	0.122	-0.139	0.228	-0.098
Cu	-0.019	0.022	0.011	0.034	-0.018	0.042	0.937
Mn	0.771	0.303	0.054	0.043	0.043	-0.241	0.116
Ni	0.117	0.911	-0.003	-0.028	-0.058	0.076	-0.016
Pb	0.671	-0.149	0.123	0.235	-0.157	0.130	-0.056
Zn	0.220	0.205	-0.008	0.025	-0.081	0.811	0.124
Mo	-0.011	-0.057	0.024	-0.051	0.835	0.059	-0.019
W	-0.087	-0.059	0.032	0.080	0.837	0.059	-0.016
Sn	0.087	0.027	0.065	0.858	0.077	-0.094	0.067
As	0.797	-0.030	0.088	0.264	-0.046	0.214	0.020
Sb	0.378	-0.013	0.088	0.770	-0.059	0.036	0.038
Bi	0.156	-0.026	0.498	0.125	-0.041	-0.085	0.661
Hg	-0.103	-0.010	-0.030	-0.091	0.233	0.769	-0.116
因子方差 贡献率/%	20.446	13.986	10.395	10.231	8.053	6.943	6.417
累计方差 贡献率/%	20.446	34.432	44.827	55.058	63.111	70.054	76.472

Cu、Bi 富集 (因子 7)。这与图 2 所做的聚类分析结果基本一致。结合矿区地质和矿床特征, 可以得出以下几点认识。

(1) Co、Cr、Ni 均属岩浆场元素, 多为亲石元素, 它们倾向于在岩浆结晶早期以硅酸盐或副矿物形式存在, 这可从形成此类元素的矿床多为与超基性、基性岩浆岩有关的岩体得到证明。通常其具有从超基性到酸性岩体富集程度逐渐降低的趋势。对于本矿区而言, 其在闪长玢岩中最为富集, 而在石英斑岩中则富集程度最低。

(2) Au、Ag、Cu、Bi 在夕卡岩中具有较高的含量, 在大理岩中含量也较高, 在花岗闪长岩中含量最低。在夕卡岩矿床中, 通常认为成矿物质来源于岩体本身。本矿区夕卡岩为花岗闪长岩和灰岩接触所形成, 造成此种元素富集特征的原因可能是花岗闪长岩在结晶过程中, 更多的 Au、Ag、Cu、Bi 富集于岩浆期后热液中, 向夕卡岩带迁移, 从而造成花岗闪长岩中此类元素亏损, 而在夕卡岩中富集的现象。大理岩为灰岩变质而来, 加入了岩浆期后热液的成分, 因此其含量也较高。沙窝沟区金矿体空间上穿插花岗闪长岩与辽河群地层, 表明 Au、Ag 等元素有更大的迁移性。

(3) Mo、W 富集于花岗闪长岩与石英斑岩中, 而在闪长玢岩中含量较少, 这说明闪长玢岩脉形成于 Mo 成矿作用之后, 而花岗闪长岩和石英斑岩则形成于 Mo 成矿作用之前, 由于花岗闪长岩与石英斑岩质地坚硬, 成矿流体不能穿过两者, 最终沉淀富集于两者中形成的空隙和微裂隙内, 也有部分形成于断裂中, 从而形成独具特色的斑岩型 Mo 矿床。

(4) Zn、Hg、Sb、Sn 也主要富集于岩浆期后热液中, 在本矿区矿床中这些元素与成矿作用尚未发现有密切的内在联系, 目前还不具有矿化指示意义。

4 结论与讨论

微量元素的地球化学特征是有效判断区域地质作用及成矿作用的手段之一, 同时也可以作为地球化学勘查、寻找一定矿产资源的依据。通过对万宝源钼矿区微量元素地球化学特征的讨论, 将其主要分为 5 类组合: ① Au、Bi、Cu; ② Pb、As、Sn、Sb、Ag; ③ Co、Ni、Mn、Cr; ④ Mo、W; ⑤ Zn、Hg。这种分类除与元素自身的地球化学性质有关外, 也受岩性、温度、压力等其他条件的限制。对于本矿区而言, Au、Cu 成矿元素富集于花岗闪长岩与寒武纪灰岩接触带上的夕卡岩内, Au 也在花岗闪长岩与其接触的辽河群地层中富集, 而 Mo 则富集于花岗闪长岩与穿插于其内的石英斑岩的微裂隙中, 也有部分富集于规模不是很大的断裂中。

微量元素的地球化学分布规律及相关性对于探讨矿床的成矿作用也是颇有裨益的, 不同元素的富集特征及相关性规律暗示了成矿地质构造演化历程及不同的矿化阶段, 但是, 若想更清晰地理解矿床的成矿作用, 需要结合其他因素共同探讨。

参考文献:

- [1] 宋建潮, 贾三石, 王恩德, 等. 万宝源斑岩型钼矿流体包裹体及成矿物质来源研究[J]. 地质与勘探, 2009, 45(5): 539—548.
- [2] 胡铁军, 宋建潮, 王恩德, 等. 辽宁宽甸万宝源钼矿床地质特征及成因机制[J]. 矿产与地质, 2009, 23(2): 142—146.
- [3] 周志忠, 孙立军, 李继才. 丹东万宝源钼矿成因探讨[J]. 有色矿冶, 2009, 25(3): 1—4.
- [4] 宋建潮, 胡铁军, 王恩德, 等. 鸭绿江断裂带两侧成矿条件对比及对辽东地区未来寻找金属矿产资源的启示[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 449—461.
- [5] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 684—685.
- [6] 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲, 等. 勘查地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 127.
- [7] 陈国能, 洛尼·格拉佩斯. 花岗岩成因: 原地重熔与地壳演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009: 166—169.