

# 潘河钼矿微量元素地球化学特征

李珊<sup>1</sup>,端木合顺<sup>2</sup>,孙卫<sup>1</sup>,徐勇<sup>2</sup>

(1 西北大学 大陆动力学国家重点实验室,陕西 西安 710069 2 西安科技大学 地质与环境学院,陕西 西安 710054)

**摘要:**在前期找矿和详查资料基础上,结合矿区岩样分析报告,综合对比了宽坪群地层、矿区石英斑岩、白岗岩及矿石中微量元素含量及其迁移富集规律,对比结果显示:矿区岩浆岩中 Mo 含量远高于其地壳丰度,其中石英斑岩中 Mo 的平均含量为  $26.67 \times 10^{-6}$ ,浓度克拉克值达 17.78,即成矿主元素 Mo 在石英斑岩体中明显富集,故认为成矿物质来源于岩浆岩。

**关键词:**微量元素;浓度克拉克值;石英斑岩;白岗岩;宽坪群

**中图分类号:**P618.65;P595

**文献标识码:**A

## Trace element geochemical characteristic of Pan He Molybdenum deposit

LI Shan<sup>1</sup>, DUANMU He-shun<sup>2</sup>, SUN Wei<sup>1</sup>, XU Yong<sup>2</sup>

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Shanxi Xi'an 110069, China; 2 College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Shanxi Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Combining with mine rock analysis report, we studied the molybdenum deposits of trace element of the molybdenum deposits systematically and compared the accumulation regularity of strata, mining quartz porphyry and white granite of trace elements comprehensively based on the previous prospecting material. The results showed that compared with the strata, content of Mo in igneous rocks was far higher than the crustal abundance. Quartz porphyry, in which the average content of Mo  $26.67 \times 10^{-6}$ , and the concentration Clark value of 17.78, was strongly enriched Mo, so we hold that the forming materials derived from magmatic rocks.

**Key words:** trace element; clark value of concentration; quartz porphyry; white granite; Kuanping group

潘河钼矿位于商洛市商州区北东 25 km 处,东经  $110^{\circ}03'$ ,北纬  $33^{\circ}55'$ 。1971 年陕西省地质研究发现潘河地区 Mo、W 组合含量异常高,异常集中,且有一定规模,成矿前景较大。前期研究认为该矿床类型为岩浆期后石英脉与热液充填复合型钼矿床,统归为斑岩外接触带型钼矿床。笔者在前期工作的基础上,对微量元素地球化学含量及特征的对比研究,旨在分析钼矿矿体的成因及矿床特征,为评价矿床工业价值及解决矿山开采提供依据。

### 1 矿床地质特征

矿区构造位置处于华北板块与扬子板块拼接消亡带北缘北秦岭加里东造山带,区域上属 III 级

构造单元的早-中元古界宽坪岩群构造亚层,褶皱构造、断裂构造极为发育。矿区地层属中下元古界宽坪岩群,是一套总体有序局部无序的构造-岩石地层系统,矿区地层主要由深变质的绿片岩类岩石与大理岩类岩石交互组成,间夹绢云石英片岩类岩石。区域岩浆活动强烈,岩石种类从超基性-碱性均有,其中以酸性岩最发育,中性岩次之,其它岩类少量<sup>[1]</sup>。根据接触关系、同位素年龄、含矿性、成矿关系,可按时代划分为前加里东期、加里东期、加里东-海西期、燕山期。矿区以燕山晚期浅成侵入-爆发形式为主。形成了分布较广的爆发角砾岩、石英斑岩、花岗斑岩及暗色脉岩。矿区围岩蚀变普遍发育,主要有矽卡岩化、硅化、碳酸盐化、绿帘石化、叶腊石化、绿泥石化、黑云

收稿日期:2013-05-20

作者简介:李珊(1986-),女,陕西西安人,在读硕士,从事油气田开发研究工作。

表1 宽坪群地层微量元素分析结果表(含量  $Ag \times 10^{-9}$ , 其余元素  $\times 10^{-6}$ )

Tab.1 Result data of trace element analysis of kuanping group strata. ( $Ag \times 10^{-9}$ , the rest elements of  $\times 10^{-6}$ )

变质岩名称	原岩类型	W	Sn	Bi	Mo	Pb	Zn	Sb	Ag	Ba	Nb	Zr	Th	Cd
绿片类岩	玄武岩类	0.9	2.1	0.2	0.2	5.8	113	0.3	0.2	106	9.9	80	1.5	0.1
斜长角闪岩类	玄武岩类	1.1	2.5	0.2	0.2	3.2	89	0.1	0.3	148	7.7	77	3.9	0.1
平均含量		1	2.3	0.2	0.2	4.5	101	0.2	0.3	127	8.8	79	2.7	0.1
浓度克拉克值		0.7	1.2	1.1	0.1	0.4	1.4	0.9	4.1	0.2	0.4	0.5	0.4	0.7
变质岩名称	原岩类型	W	Sn	Bi	Mo	Pb	Zn	Sb	Ag	Ba	Nb	Zr	Th	Cd
云母石英片岩	碎屑岩	2.4	4.1	0.4	0.6	23	61	0.4	0.3	466	12	212	17	0.2
石英岩	硅质岩	1.2	1	0.1	0.3	6.9	29	0.2	0.4	50	4.3	12	1.5	0.2
大理岩	碳酸盐岩	0.8	1.1	0.2	0.4	3.1	15	0.3	0.4	1.5	1.5	0.5	1.5	0.2
平均含量		1.5	2.1	0.2	0.4	11	35	0.3	0.3	173	5.8	75	6.7	0.2
浓度克拉克值		1	1	1.2	0.3	3.6	0.5	1.6	4.9	0.3	0.3	0.5	0.9	0.8
地层平均含量		1.2	2	0.3	0.4	7.4	60	0.3	0.8	186	8	78	4.5	0.2
地壳丰度(据马逊 1982)		1.5	2	0.2	1.5	13	70	0.2	0.1	590	20	165	7.2	0.2
浓度克拉克值		0.9	1.1	1.1	0.2	0.6	0.9	1.3	4.6	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8

注:西安地质矿产研究所实验测试中心采用等离子体质谱仪 ICP-MS 分析;地壳丰度取自马逊 1982。

母化和滑石化、绢云母化、高岭土化等。本矿区与 Mo、W 成矿关系最为密切的是钾长石化、云英岩化、黄铁矿化、硅化<sup>[2-3]</sup>。矿区除潘河河谷有零星矿体出露以外,埋藏较深,均为盲矿体。矿石自然类型有大理岩型、绿片岩型、石英斑岩型、爆破角砾岩型、碎裂岩型钼矿石。矿石构造主要有块状、片状、角砾状构造。

## 2 微量元素地球化学特征

### 2.1 地层中微量元素特征

为探究本区微量元素特征,对宽坪群各不同原岩类型的变质岩样品进行 W、Sn、Bi、Mo、Pb、Zn、Sb、Ag、Ba、Nb、Zr、Th、Cd 等 14 种元素定量分析,利用岩石测量结果,将宽坪群地层中微量元素含量及浓度克拉克值列于表 1。

由表 1 可见宽坪群地层中微量元素高中低温均有分布,其中 Pb、Zn、Ba 等中温元素含量较高,Mo、W、Sn、Bi 等高温元素含量相对较低。与原岩类型为砂屑岩、硅质岩及碳酸盐岩等沉积岩相比,原岩类型为玄武岩的变质岩层中各微量元素的含量与地层平均含量值更为接近,表明本区地层中金属矿富集成因上与岩浆岩作用密切相关,宽坪群整体地层 Mo 平均含量仅为  $0.4 \times 10^{-6}$ ,且 Mo 在两种类型原岩类型的变质岩中浓度克拉克值均小于 1,表明来自宽坪群地层的 Mo 对于钼富集成矿意义不大<sup>[1-5]</sup>。

### 2.2 岩浆岩中微量元素特征

为研究矿区岩浆岩微量元素地球化学特征,

对所采集的石英斑岩及白岗岩样品典型微量元素数据进行分析。

表2 岩浆岩典型微量元素分析结果表

(含量  $Ag \times 10^{-9}$ , 其余元素  $\times 10^{-6}$ )

Tab.2 Result data of typical trace element in magmatic rocks ( $Ag \times 10^{-9}$ , the rest elements of  $\times 10^{-6}$ )

微量元素	石英斑岩		白岗岩		地壳丰度
	平均含量	浓度克拉克值	平均含量	浓度克拉克值	
Cu	125	2.27	100	1.82	55
Cr	5.17	0.05	12.5	0.125	100
Ni	2	0.03	2.5	0.03	75
Co	1.83	0.07	3	0.12	25
V	46.67	0.35	40	0.3	135
Ag	1	14.29	1	14.29	0.07
Pb	30	2.31	30	2.31	13
Zn	73.33	1.05	75	1.07	70
Mo	26.67	17.78	20	13.33	1.5
Sn	7.5	3.75	3	1.5	2
La	18.33	0.61	15	0.5	30
Y	35.5	1.08	50	1.52	33
Yb	6.33	1.86	4	1.18	3.4
Sc	10.83	0.49	7.5	0.34	22
Zr	300	1.82	300	1.82	165
Hf	10	3.33	10	3.33	3
Nb	250	12.5	250	12.5	20
Mn	383.33	0.4	450	0.47	950

注:西安地质矿产研究所实验测试中心采用等离子体质谱仪 ICP-MS 分析;地壳丰度取自马逊 1982

表 2 中可看出,本区岩浆岩中 Mo、Ag 含量远高于地壳丰度,其中石英斑岩中 Mo 的平均含量为  $26.67 \times 10^{-6}$ ,浓度克拉克值达 17.78,而 Ag 平均

表3 矿石微量元素分析结果表(含量  $\text{Ag} \times 10^{-9}$ , 其余元素  $\times 10^{-6}$ )Tab.3 Result data of trace element analysis in ore( $\text{Ag} \times 10^{-9}$ , the rest elements of  $\times 10^{-6}$ )

微量元素	PHTWPD-2 ( $10^{-2}$ )	PHTWZK3701-10 ( $10^{-2}$ )	PHTWZK3107-14 ( $10^{-2}$ )	平均值	地壳丰度	浓度克拉克值
Cu	0.3	0.001	0.0005	1005	55	18.27
Cr	0.001	0.001	0.01	40	100	0.4
Ni	0.03	0.01	0.01	166.67	75	0.22
Co	0.01	0.005	0.003	60	25	2.4
V	0.05	0.01	0.01	233.33	135	1.73
Ag	0.0001	0.0005	0.0001	2.33	0.07	33.29
Pb	0.0005	0.0005	0.0005	5	13	0.38
Zn	0.03	0.01	0.03	233.33	70	3.33
W	0.01	/	0.01	100	1.5	66.67
Mo	>3	3	>3	30000	1.5	20000
Sn	0.005	0.003	0.002	33.33	2	16.67
La	0.001	0.001	0.003	16.67	30	0.56
Y	0.001	0.001	0.001	10	33	0.3
Yb	0.0001	0.0001	0.0001	1	3.4	0.29
Sc	0.001	0.0003	0.0001	4.67	22	0.21
Zr	0.01	0.005	0.005	66.67	165	0.4
Nb	0.002	0.001	0.002	16.67	20	0.83
Ba	0.1	0.05	0.05	666.67	590	1.13
Sr	0.02	0.02	0.02	200	375	0.53

注:西安地质矿产研究所实验测试中心采用等离子体质谱仪 ICP-MS 分析;地壳丰度取自马逊 1982

表4 潘河钼矿微量元素分析结果表(含量  $\text{Ag} \times 10^{-9}$ , 其余元素  $\times 10^{-6}$ )Tab.4 Result data of trace element analyses in the panhe molybdenum deposit ( $\text{Ag} \times 10^{-9}$ , the rest elements of  $\times 10^{-6}$ )

微量元素	石英斑岩		白岗岩		矿石		围岩		地壳丰度
	平均含量	浓度克拉克值	平均含量	浓度克拉克值	平均含量	浓度克拉克值	平均含量	浓度克拉克值	
Sn	7.5	3.75	3	1.5	33.33	16.67	2.03	1.08	2
Mo	26.67	17.78	20	13.33	30000	20000	0.4475	0.23	1.5
Pb	30	2.31	30	2.31	5	0.38	7.43125	0.64	13
Zn	73.33	1.05	75	1.07	233.33	3.33	59.93	0.88	70
Ag	1	14.29	1	14.29	2.33	33.29	0.753125	4.57	0.07
Zr	300	1.82	300	1.82	66.67	0.4	78.2225	0.46	165
Nb	250	12.5	250	12.5	16.67	0.83	8.0475	0.35	20
Ga	25	1.67	20	1.33	16.67	1.11	7.586	0.51	15
Ba	833.33	1.41	750	1.27	666.67	1.13	186.095	0.26	590
Sr	183.33	0.49	150	0.4	200	0.53	80.548	0.21	375

注:地壳丰度取自马逊 1982

含量为  $1 \times 10^{-6}$ , 其浓度克拉克值为 14.29, 表明本区岩浆岩以明显富集 Mo、Ag 为特征, 而 Cr、Ni、Co、V 等表现为明显的亏损<sup>[5-8]</sup>。上述分布特点揭示, 成矿主元素 Mo 在石英斑岩体中强烈富集, 并呈强分异型分布, 可形成较强的异常及钼矿体。

### 2.3 矿石微量元素特征

通过区内矿石的光谱分析、组合多元素化学分析、基本分析表明, 矿石中的有益组分为钼, 伴生有益组分主要为钨。

由表3可见, 辉钼矿矿石中 Mo、W、Sn、Ag 含量远高于地壳丰度, 其中 Mo 的平均含量为  $30\ 000 \times 10^{-6}$ , 浓度克拉克值达 20 000, 而 Ag 平均含量为  $100 \times 10^{-6}$ , 其浓度克拉克值为 20 000, 表明矿

石中强烈富集 Mo、Ag 富集也较明显<sup>[5,7,9]</sup>。

一般认为, W、Bi、Sn、Nb 等元素和 Mo 常富集于岩浆结晶分异作用晚期形成的高温热液阶段, 由于这些元素与 Mo 在离子半径、离子电位或电负性等化学性质上近似, 因此它们在含 Mo 的矿物中可以类质同象置换的方式得到一定程度的富集, 尤其是 W 在钼矿中更富集<sup>[8,10]</sup>。

### 2.4 各类岩性岩石与矿体微量元素特征

对矿区所采集的岩浆岩、围岩及矿石样品进行 Sn、Mo、Pb、Zn、Ag、Zr、Nb、Ga、Ba、Sr 10 种微量元素测试分析, 表4为微量元素平均含量及浓度克拉克值。

表4对岩浆岩(石英斑岩、白岗岩)、围岩及矿

石样品进行 Sn、Mo、Pb、Zn、Ag、Zr、Nb、Ga、Ba、Sr 10 种微量元素平均含量及浓度克拉克值对比,可看出,石英斑岩和白岗岩 Mo 的浓集程度远大于地层,地层中微量元素与这两者相应元素浓度克拉克值相差近两个数量级,石英斑岩中 Mo 的浓度略高白岗岩,石英斑岩中 Mo 浓度克拉克值达 17.78<sup>[6-10]</sup>。

综上,与宽坪群地层相比,本区成矿主元素 Mo 在石英斑岩体中强烈富集,呈强分异型分布,而地层中元素 Mo 分布相对贫乏,表现为较明显的亏损,可认为本区富集成矿的钼源自于岩浆岩中。

### 3 结论

1) 宽坪群地层中 Sn、Bi、Sb、Ag 四种元素富集,其中 Ag 呈明显富集, Mo 平均含量仅为  $0.4 \times 10^{-6}$ ,浓度克拉克值为 0.2,可见本区地层中 Mo 较分散,可认为来自宽坪群地层中的 Mo 对于元素 Mo 富集成矿意义不大。

2) 本区成矿主元素 Mo 在石英斑岩体中强烈富集,形成了强烈的异常,研究区所依附的岩浆岩体主要就是石英斑岩,故可认为本区富集成矿的钼源自于岩浆岩中。

### 参考文献:

[1] 高洪学,李检禄,成学涛. 中元古界宽坪群岩石化学及

(上接第 57 页)

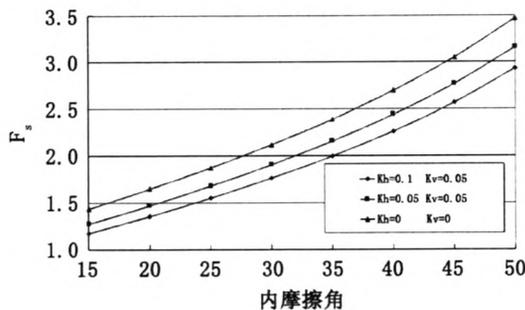


图5 内摩擦角与Fs关系图

Fig.5 Variation of factor of safety (FS) of the slope with angle of inclination

### 4 结语

本文编制成 Visual Basic 程序,能够快速准确的计算和判定边坡的稳定性,经算例分析表明其计算结果可靠。从而使得在边坡的稳定性评价中能够方便地运用 GPS 的测量结果,大大的提高了工作效率。

微量元素特征[J]. 陕西地质,1989,7(1): 11-27.

[2] 练翠侠,欧阳志强,贺忠春. 陕西省商洛市潘河钼矿地质特征及成因分析[J]. 矿床地质,2011,30(3): 448-456.

[3] 简伟,柳维,石黎红. 斑岩型钼矿床研究进展[J]. 矿床地质,2010,29(2): 308-316.

[4] 刘建平,王核,李社宏,等. 西昆仑北带喀依孜斑岩型钼矿床地质地球化学特征及年代学研究[J]. 岩石学报,2010,26(10): 3095-3105.

[5] 周宏,林森,司雪峰. 甘肃小柳沟钼矿床微量元素地球化学特征[J]. 桂林工学院学报,2004,24(3): 273-277.

[6] 王玉婷,何明友,白宪洲,等. 四川大水沟碲矿床微量元素地球化学特征. [J]. 新疆地质,2011,29(3): 337-341.

[7] 史长义. 研究微量元素区域分散与富集规律的新方法[J]. 物探与化探,1994,18(3): 219-227.

[8] 刘英俊,曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京:地质出版社,1993.

[9] 熊德信,孙晓明,石贵勇,等. 云南大坪金矿白钨矿微量元素、稀土元素和 Sr-Nd 同位素组成特征及其意义[J]. 岩石学报,2006,22(3): 733-741.

[10] 支霞臣. 痕量元素地球化学译文集[M]. 北京:地质出版社,1987.

(责任编辑 刘存英)

### 参考文献:

[1] 周忠谟,易杰军. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京:测绘出版社,1994.

[2] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析、原理、方法、程序[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.

[3] 钱家欢,殷宗泽. 土木工程原理与计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996

[4] LING HI, CHENG AHD. Rock sliding induced by seismic force[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1997,34(6):1021-1029.

[5] 林丽,郑颖人. 条分法的统一公式及其分析[J]. 地下空间,2002,22(3): 252-255.

[6] 时卫民,郑颖人,唐伯明. 滑坡稳定性评价方法的探讨[J]. 岩土力学,2003,24(4): 545-548.

[7] 吴兆营,薄景山,刘红帅,等. 岩体边坡地震稳定性安全系数分析方法[J]. 防灾减灾工程学报,2004,24(3):237-241.

(责任编辑 刘存英)