

湘西北下寒武统黑色页岩 伴生元素研究新进展

李有禹

(湘潭矿业学院,湘潭)

提 要: 湖南大庸慈利的镍钼多金属矿床是湘西北下寒武统黑色页岩中伴生元素镍钼及铂族元素等富集最好地段。该矿床中的硅岩应属典型的喷气岩;特殊的筒状富矿体(Ni+Mo=5.68%~18.93%),以及 Ni、Mo、Cu、Zn、Se、As、Ba、Au、Ag、Pt 族元素特殊组合;矿石中金属硫化物呈胶状产出,显示快速堆积特征。已有的证据表明,湘西北下寒武统黑色页岩中伴生元素镍钼及铂族元素的富集与成矿,与海底喷气(流)作用有关,其矿床成因应为海底喷气沉积矿床。

主题词: 下寒武统 黑色页岩 海底喷气沉积 沉积盆地

多年来,对下寒武统黑色页岩中伴生元素 Ni、Mo 及 Pt 族元素等富集形成的矿床,有一个传统的认识,认为属陆源生物化学作用形成的同生矿床^[1]。后来虽有异源同生沉积之说^[2],但也只是一种推断,缺乏系统的论证。笔者近几年来,在煤炭部的资助下,对产于下寒武统黑色页岩中的镍钼及铂族元素富集最典型的地段,湖南大庸慈利县境内的镍钼多金属矿床进行了深入研究。它在矿物、岩石、地球化学、矿床学诸方面均表现具有海底喷气(流)作用特征。本文旨在以该矿床为例,探讨下寒武统黑色页岩中伴生元素 Ni、Mo 及 Pt 族元素的富集与矿床特征等有关问题。

1 区域地质概况

本区位于扬子准地台东侧、邻近江南地轴的武陵褶皱束内。区域构造为古丈复背斜的北西翼次级向斜——天门山向斜、剪刀寺向斜。区内构造及地层分布呈 NE 向展布,本区的镍钼多金属矿床集中分布于上述两向斜的倾伏部位(图 1)。

区内出露有元古界板溪群、震旦系,下寒武统木昌组(旧称牛碓垅组)为一套黑色岩系,是本区的赋矿层位。其上还有杷榔组、清虚洞组,中上寒武统以及奥陶志留系。下寒武统与震旦系为假整合接触^[1]。

区内断裂构造发育,花垣-保靖-大庸-慈利深大断裂呈 NE 向经过本区,对本区的地层分布,成矿作用有明显的控制作用。同时还有一些大型和次级断裂,在此不赘述。

李有禹,男,56岁,副教授,多年从事矿床学、地球化学的教学和研究工作。邮政编码:411201
1994-5-24 收稿,1994-10-26 修改回。由徐川、刘浩龙编辑

2 断裂构造对成矿的控制作用

经研究,花垣-保靖-大庸(经溪口)-慈利深大断裂,对本区的镍钼多金属矿化起着强烈的控制作用,如图1所示。

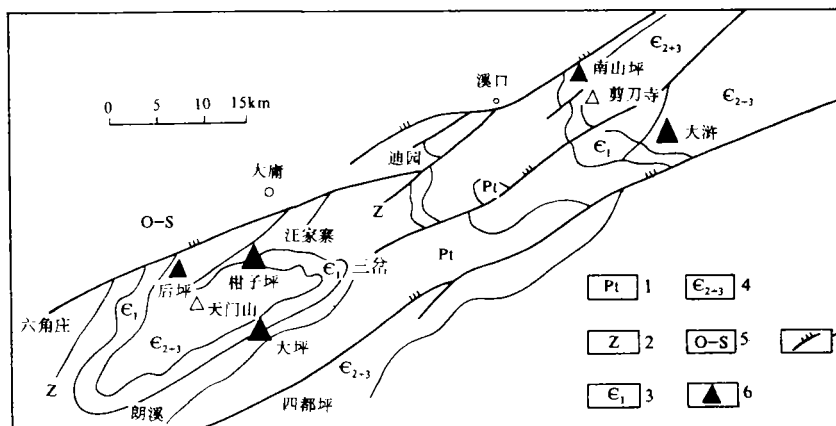


图1 湘西北地区镍钼多金属矿床区域地质略图

1—板溪群; 2—震旦系; 3—下寒武统; 4—中上寒武统; 5—奥陶-志留系; 6—镍钼矿区; 7—断裂

Fig. 1. Sketch regional geological map of northwestern Hunan, showing distribution of nickel-molybdenum polymetallic deposits.

1—Banxi Group; 2—Sinian; 3—Lower Cambrian; 4—Middle-Upper Cambrian; 5—Ordovician-Sinian; 6—Nickel-molybdenum; 7—Fault.

(1) 这条深大断裂,是扬子准地台与江南地轴的分界线,性质属轴缘断裂。本文研究的湘西北镍钼多金属矿床,如大庸的后坪、柑子坪、大坪、慈利的大浒等重要矿区,在分布的空间上都是以此深大断裂作展示背景,紧随深大断裂内侧呈NE向线状分布。该深大断裂,在震旦纪时,以形成灯影灰岩中大面积出露的同生角砾岩表现出来。在大庸的仙人溪、柑子坪、汪家寨一线,同生角砾岩呈NE向延展,长20余公里,宽10余米,规模壮观。

(2) 该深大断裂与次一级断裂交汇处,已成为镍钼多金属含矿热液上升通道^[3]。以笔者在震旦系的灯影灰岩上部多处发现了大量的网状矿脉所显示,其展布与同生角砾岩同步。此矿脉为磷酸盐矿脉,由磷灰石、胶磷矿、石英、方解石和少量硫化物组成。硫化物为黄铜矿、辉砷镍矿、黄铁矿等。这次矿液带来了SiO₂,使灯影灰岩局部硅化。

(3) 深大断裂和深断裂,构成了本区镍钼多金属喷气沉积矿床所具有的断陷盆地构造成矿环境。断裂构造是矿区的边界,是划分各级沉积盆地的重要参数。

3 喷气(流)岩——硅岩的地质特征

本区硅岩产于含矿岩系磷矿层之上部(见下述柑子坪剖面)。呈层状或似层状,厚度0.8~

1.30m不等,分布上受断裂构造控制。岩石类型有块状硅岩、球粒硅岩和条带硅岩。化学成分上贫 Al、Mn 富 Si、Fe。Al/(Al+Fe+Mn)在 0.1538~0.3296 间,平均 0.257(表 1)。与世界标

表 1 硅岩的主要化学成分及其对比

Table 1. Comparison of main chemical composition of various silicalites

岩类		含量(%)										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
喷气成因 硅岩(本文)	条带状硅岩(G-2-4)	95.28	0.858	0.024	1.230	0.125	0.64	0.088	0.55	0.014	0.188	0.125
	条带状硅岩(F-2-3)	90.25	0.739	0.020	1.075	0.11	3.505	0.085	2.56	0.015	0.186	0.040
	块状硅岩(G-2-3)	95.11	0.718	0.017	1.178	0.10	1.737	0.059	1.38	0.021	0.158	0.028
	块状硅岩(G-2-5)	94.00	0.513	0.019	1.655	0.147	0.494	0.154	0.31	0.015	0.115	0.053
	球粒硅岩(F-2-6)	82.38	1.831	0.025	1.435	0.095	6.403	0.125	5.65	0.042	0.252	0.027
喷气成 因硅岩	广西大厂硅岩(韩发,1989)	73.68	5.65	0.25	6.19	0.06	5.93	0.79	0.13		1.37	0.05
	西秦岭硅岩(郑明华,1993)	93.34	0.40	0.02	2.12	0.01	0.20	0.05	0.25		0.19	0.02
生物成因 ^①	硅岩	95.96	0.71	0.03	0.51	0.02	0.30	0.02	0.02		0.05	0.06

① 摘自韩发 1989 年资料

准热液硅岩(北太平洋白垩系硅岩 0.24)比值一致。在 Al-Fe-Mn 图解上,本区硅岩落在 II 区(图 2)。稀土元素配分,本区硅岩显示两大特点:稀土总量(147.48×10^{-6}) > 镍钼矿层上部围

岩(36.02×10^{-6}) (见后文表 5); 亏 Ce, $\Sigma LREE$ 与 $\Sigma HREE$ 差值较小,稀土曲线平缓。一方面反映海水(亏 Ce)的特征,同时也表现出本区海底喷气(流)作用特征。

氧同位素组成(表 2), $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值在 17.6‰~20.9‰,比火山成因硅岩(1.9‰~5.2‰)高出若干倍;与寒武纪正常海相燧石(Epstein 等,1976)(25.6‰)比则低;与海底喷流成因的阿拉斯加硅岩(20.7‰~23.0‰)、我国秦岭凤太铅锌矿田硅岩(18.7‰~22.0‰)相一致^[4]。

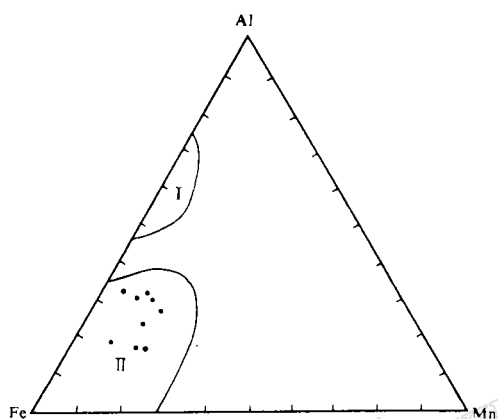


图 2 Al-Fe-Mn 三角图解

(据 M Adachi 等,1986)

I — 生物成因硅岩区; II — 热水沉积硅岩区

Fig. 2. Al-Fe-Mn triangular diagram

(after M. Adachi et al., 1986).

I — Area of biogenetic silicalite; II — Area

of hydrothermal sedimentary silicalite.

表 2 不同硅岩的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值(‰)

Table 2. $\delta^{18}O_{SMOW}$ values of different silicalites(‰)

剖面及样号	硅岩类型	$\delta^{18}O$
F-2-4	条带状硅岩	20.5
G-2-1	条带状硅岩	20.9
G-2-5	块状硅岩	17.6
K-2-A ₂	泥质硅岩	20.9

由南京矿产所同位素室分析

4 矿床地质

4.1 含矿岩系层序(由老到新)(以柑子坪剖面为例)

震旦上统灯影组(Zbdn):由白云质灰岩、白云岩组成。

假整合

下寒武统木昌组(G₁m)

磷矿层:由磷块岩、硅质磷块岩、硅岩、燧石岩组成。硅质白云岩脉插入其中。厚 1.15 m。

结核层:由含结核的鳞片状碳质页岩组成。结核为粘土质、硅质、其中有少量金属硫化物厚 0.45~0.55 m。

镍钼层:由主镍钼层(含富矿层,俗称“金属层”)和次镍钼层组成。岩石类型为白云质、粉砂质碳质页岩。厚 1.45 m。

黑色碳质页岩:为镍钼矿层的顶板。由含断线状黄铁矿的碳质页岩组成。厚 2.7 m。

其上还有中厚层状的硅质碳质页岩多层。木昌组总厚 65 m。

4.2 矿体形状、产状特征

镍钼多金属矿体以似层状、透镜状为主。而富矿体多呈透镜状、扁豆状或扁豆体群出现,与围岩呈整合产出。此外,在大庸的仙人溪、后坪还见有一种罕见的特殊形状矿体——筒状矿体(图 3)。该矿体, Ni+Mo=5.686%~18.93%,为富矿体^[5]。对于这种形状特殊的富矿体的成因说成陆源经生物化学作用形成,令人难于信服。按其形状和与围岩明显交切的关系,倒与现代大洋海底热液沉积作用相似^[6]。所以笔者认为,筒状富矿体,是当时海底热液以每秒几米的速度快速向外喷流时,所形成的烟囱状或“墩”状的金属硫化物,未被破坏而仅少数残留的结果。

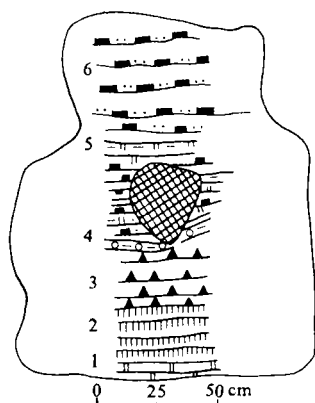


图 3 III₁T₃ 筒状矿体素描图

(据湖南冶金 245 队,1971)

1—白云岩; 2—磷块岩; 3—硅岩; 4—结核层;
5—白云质碳质页岩含筒状矿体; 6—黑色碳质页岩具浸染状矿化

Fig. 3. Sketch of III₁T₃ chimney orebody.

1—Dolomite; 2—Phosphorite; 3—Silicalite;
4—Nodule layer; 5—Dolomitic carbonaceous shales that contain chimney orebody; 6—Black carbonaceous shale that contain disseminated mineralization.

4.3 矿石类型和组构

矿区的矿石中常见金属硫化物有:方硫镍矿、辉镍矿、辉砷镍矿、硫钼矿、黄铁矿和胶黄铁矿等,脉石矿物为磷质、白云质、碳质和粘土(前人已有详细研究)。它们构成碎屑状矿石、条带状矿石和浸染状矿石。前者是由金属硫化物、碳泥质、硅质、磷质等棱角状、次棱角状、竹叶状、姜结人状、蠕虫状、准鲕状的碎屑,直径最大者>1 cm,最小者<1 mm,一般为 1~3 mm。被白云质、粉砂质胶结而成,是矿区最常见的矿石构造。条带状是由碳泥质、硅质、磷质和金属硫化物构成 1~0.5 mm 的条带,被碳泥质、磷质胶结而成。浸染状是指金属硫化物呈细粒状散布于碳泥质、白云质、粉砂质等基质中构成。矿石结构以各种形式的胶状结构最发育。上述的金属硫化物中除晶粒状黄铁矿外,其他硫化物均可呈胶状,并围绕碳泥质、磷质、硅质等碎屑构成各种形式的胶状结构。限于篇幅不便详述。这种胶状结构,反映了本区镍钼多金属矿床的成因特征。

4.4 矿石的元素组合(表 3)

本区镍钼多金属矿床,表现出一种特殊的元素组合,即 Ni、Mo、V、P、Cu、Zn、Cd、Ga、Se、As、Ba、Au、Ag、Pd、Pt 等。矿石中成矿元素 Ni、Mo 高度富集达工业要求。Ni 最高 16.76%,一

般 0.24%, Mo 最高 4.5%, 一般 0.8%。同时有 Pd、Pt 的富集 (Pd 0.210×10^{-6} 、Pt 0.130×10^{-6})^①。微量元素 Se、As 在矿石中也显高度富集。Se 为 Mo 的 1/10~1/20, 最高达 2545×10^{-6} , As 最高达 15000×10^{-6} , 分别为地壳丰度的 5 万倍和 8300 倍。在含矿岩系中, Ba 元素的背景值较高, 均高出海水钡的正常含量的数十至上百倍, 这是一组复杂的元素组合, 从元素的

表 3 镍钼矿石中有益组分及微量元素含量(10^{-6})Table 3. Contents of useful components and trace elements in nickel and molybdenum ores(10^{-6})

矿区(段)	样号	Ni	Mo	Pt	Pd	Cu	Zn	Se	Sb	As	Ba	Au	Ag	资料来源
柑子坪	F-4-3-A	13552.9	12261.9	0.039	0.002	684.9	2961.3	550.21	0.96	4599.19	4891.0	0.001	1.19	本 文
	F-4-A	19818.5	2298.35	0.008	0.00	380.9	149.8	1197.0	0.44	10292.2	1499.9	0.005	0.82	
	F-4-1-A	10728.3	9903.62	0.025	0.00	722.6	2059.7	582.56	0.94	7191.15	713.65	0.001	0.54	
岩板溪	G-4-A ₁	10061.8	34916.3	0.014	0.001	411.51	382.12	928.81	1.48	9775.5	1193.31	0.003	1.099	
	G-4-2-A ₁	397.95	804.88	0.023	0.00	205.68	706.21	214.10	0.31	647.27	3237.11	0.004	0.252	
	G-4-2-A	705.19	888.20	0.036	0.00	167.63	352.70	98.06	0.08	809.43	1332.41	0.00	0.138	
汪家寨	I-4-A ₁	2455.48	4266.79	0.007	0.006	222.95	82.33	252.34	0.39	785.62	3170.83	0.002	1.257	
	I-4-A ₂	36949.1	20134.6	0.004	0.007	994.54	320.52	1414.81	1.14	4555.76	615.68	0.007	2.218	
三岔	J-4-A	41001.8	19243.3	0.003	0.005	1632.44	2160.99	1060.07	0.81	6284.69	2727.55	0.006	1.667	
大坪	L-4-1	28223.1	3822.10	0.007	0.008	1003.72	2851.79	1502.01	1.88	5178.22	1043.99	0.010	3.34	
大浒	N-3-1	9192.21	59336.3	0.011	0.006	563.13	1957.59	547.08	1.61	2995.42	3591.68	0.004	2.37	
	N-3-2	27892.3	52669.5	0.007	0.007	1205.25	780.46	1234.22	1.95	4815.11	9117.73	0.008	2.818	
	N-4-2	32800.0	25650.0	0.007	0.011	975.78	1336.98	1740.52	3.90	7868.57	2815.60	0.012	3.90	
后坪	镍钼矿石	167600.0	21700.0	0.640	0.640	660.0	450.0	2545.0	—	10000.0	—	0.360	11.60	孙一虹,
仙人溪	镍钼矿石	11260.0	45600.0	0.22	0.22	1120.0	1890.0	1175.0	—	15000.0	—	0.110	16.80	1986
晓坪	镍钼矿石	5720.0	4350.0	0.035	0.030	770.0	770.0	317.0	—	—	—	—	2.33	湖南 405
	镍钼矿石	1460.0	2250.0	—	—	1490.0	900.0	93.0	—	—	—	—	3.33	队, 1973

本文数据由中南工业大学测试中心(ICP)提供

表 4 湘西北镍钼多金属矿床及含矿岩系中 $\delta^{34}\text{S}$ 值的分布Table 4. Distribution of $\delta^{34}\text{S}$ values in nickel-molybdenum polymetallic deposits and ore-bearing rocks of northwestern Hunan

层位	矿层(黄铁矿)	上部围岩(黄铁矿)	资料来源
$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	-17.2(大坪)	+21.0(后坪)	本 文
	-6.7(大坪)	+23.9(大坪)	
	-14.0(柑子坪)	+6.0(柑子坪)	
	-17.6(大浒)	+3.1(大浒)	
		+21.6(新开坪)	
	-13.0(岩板溪)	+24.8(岩湾)	孙一虹, 1986
	-8.4(关门峪)	+17.3(凤凰)	
		+16.1(罗翁)	范德廉, 1981
	-10.0(大庸天门山)		

本文数据由南京矿产所同位素室提供

① 湖南 405 队大坪-晓坪勘探报告

地球化学性质分析,特别是微量元素 Se 和 As(据吕国芳等,1992 年研究,将 $As > 100 \times 10^{-6}$ 作为热水沉积判别标志),均反映与热液作用在成因上的紧密联系^(7,8)。

4.5 稳定同位素

镍钼矿层中的黄铁矿和矿层上部围岩黑色碳质页岩中的黄铁矿以及含矿岩系中的黄铁矿的硫同位素分析(表 4)。结果表明,矿层和上部围岩中的 $\delta^{34}S$ 值有显著差别。矿石的 $\delta^{34}S$ 均为负值,从 -6.7% ~ -17.6% ,多数在 -13.0% ~ -17.6% 间。上部围岩的 $\delta^{34}S$ 均为正值,从 $+3.1\%$ ~ $+24.8\%$,多数在 $+16.1\%$ ~ $+21.0\%$ 间。此数据与古生代大洋中 $\delta^{34}S$ ($+20\%$ ~ $+30\%$) 接近。这样一正一负,说明硫源不同。矿石的 $\delta^{34}S$ 值,极差在 10% 附近,显示出来源单

表 5 湘西北镍钼多金属矿床含矿岩系稀土元素含量(10^{-6})

Table 5. REE contents of ore-bearing rocks in nickel-molybdenum polymetallic deposits of northwestern Hunan

层位 样号	矿层					上部围岩			硅岩	
	F-4-3-A	L-4-1	G-4-A	G-4-2-A	N-4-1	F-6-1	F-7-1	L-6-1	F-2-A	I-2-1
La	499.62	136.05	90.92	70.51	44.50	0.47	6.55	4.61	19.58	45.21
Ce	512.36	164.60	121.94	66.02	61.71	0.89	5.16	5.51	20.62	50.55
Pr	102.16	24.84	20.33	16.37	7.69	0.10	1.47	1.53	5.14	8.27
Nd	480.68	105.93	90.09	72.16	29.62	0.43	5.44	7.31	23.17	31.43
Sm	86.88	19.06	18.23	15.31	5.46	0.10	1.21	1.85	5.00	5.32
Eu	19.30	4.11	4.46	4.18	1.20	0.03	0.29	0.44	1.23	1.44
Gd	107.82	24.03	24.95	19.03	5.76	0.06	1.26	2.22	5.66	5.11
Tb	16.16	3.47	3.78	2.95	0.84	0.01	0.20	0.36	0.88	0.72
Dy	103.19	23.17	25.98	20.16	5.18	0.07	1.28	2.50	6.06	4.25
Ho	22.00	4.98	5.56	4.61	1.09	0.01	0.28	0.52	1.28	0.84
Er	57.58	14.54	15.83	13.40	2.97	0.03	0.79	1.54	3.73	2.06
Tm	7.054	1.933	2.108	1.854	0.401	0.006	0.116	0.220	0.508	0.255
Yb	82.87	10.56	12.10	10.35	2.05	0.03	0.66	1.40	3.17	1.06
Lu	4.464	1.416	1.794	1.548	0.284	0.006	0.102	0.215	0.448	0.131
Y	1225.60	280.30	266.74	219.91	52.72	0.78	11.22	19.89	51.02	38.60
总量	3277.71	819.99	704.81	538.37	221.47	3.05	36.02	50.12	147.48	195.25

地矿部武汉综合岩矿测试中心分析

一的特点。矿石中 $\delta^{34}S$ 负值是本区矿床的特征之一。采样分析数据与前人(范德廉,1981;孙一虹,1986)基本一致。它与兰坪金顶铅锌矿床属热卤水成矿的硫化物 $\delta^{34}S$ (-13.0% ~ 17.1% , 周维金等,1992)也相一致。至于负值产生的原因,可能是个复杂问题。是否可以认为是海底热液来自深部,受到地层水混染,并与富细菌成因的 H_2S 有关。

4.6 稀土元素配分

矿石的稀土元素含量特点表明(表 5):① 矿石 ΣREE (数百 ppm) > 上部围岩 ΣREE (几至几十 ppm),这种差别的产生,是与不同物源有关;② 稀土配分曲线(图 4):亏 Ce,特别是矿层上部围岩亏 Ce 更明显,这点与海水的稀土配分相一致。但其配分曲线略向右倾斜,表明 LREE 略大于 HREE,而与海水稀土配分特征不同,具有本区海底喷流物质中稀土元素原有的特性。

4.7 矿床具两套成矿系统

底部补给成矿系统,由震旦系灯影灰岩中的大量网状矿脉构成。矿脉与围岩成交代关系。网状矿脉分粗脉和细脉,粗脉宽5~7cm,细脉宽0.1~0.5cm不等。由磷灰石、胶磷矿、石英、方解石和少量硫化物(黄铜矿、辉砷镍矿、黄铁矿)组成。

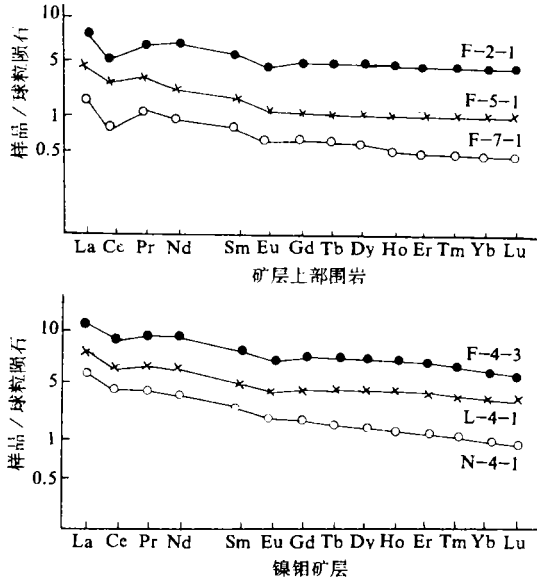


图4 湘西北镍钼多金属矿床矿层和围岩的稀土元素图型

Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of ore beds and wall rocks in nickel-molybdenum polymetallic deposits of northwestern Hunan.

上部海底化学沉积系统,是由下寒武统底部的磷矿层、结核层、镍钼层及上部黑色碳质页岩组成。其中的镍钼等金属硫化物系海底喷发物排放到海盆经化学沉积作用形成,层状构造、纹层状构造发育。

上述特征表明:产于湘西北下寒武统黑色页岩中的镍钼多金属矿床,因它严格地受区域断裂构造的控制,有较典型的喷气岩——硅岩和筒状富矿体,特征的胶状结构,特殊的元素组合,高钷值的出现,稳定同位素、稀土元素配分以及矿床具两套成矿系统等等,都反映该矿床并非陆源搬运沉积,而具有海底喷气(流)作用特征,矿床成因应属海底喷气沉积矿床。

5 沉积盆地

根据上述深断裂对成矿的控制作用,矿床地质特征,结合D E 拉奇(1982)海底喷气沉积矿床的地质参数,将本区划分出一个I级盆地、一个II级盆地和两个III级盆地(见表6)。

表6 湘西北镍钼多金属喷气沉积矿床沉积盆地
Table 6. Nickel-molybdenum polymetallic exhalation sedimentary deposits and sedimentary basins in northwestern Hunan

级别	范围	依据及特征
I级盆地	古丈至慈利,包括天门山向斜,剪刀寺向斜,侧向50~100 km	以花垣-大庸-慈利深大断裂为西北界,南缘以板溪群中的NE向断裂如四都坪-龙潭河断裂以南。它们构成一个狭长的断陷盆地,侧向距离较小,为武陵褶皱断束的一部分。盆地内震旦系碎屑岩较多,下寒武统黑色页岩发育,在盆地的西南边缘的古丈县境内有基性岩出露 ^①
II级盆地	柑子坪-大泅盆地,仅包含天门山向斜,剪刀寺向斜,侧向20~35 km	盆地西北仍以花垣-大庸-慈利深大断裂为界,南侧以四都坪-龙潭河断裂为界。盆地内下寒武统底部的硅岩、硅质白云岩脉都较发育
III级盆地	1. 后坪-柑子坪盆地 侧向10~15 km 2. 大泅-龙潭河盆地 侧向10~12 km	盆地西北、东南以断裂为界,盆地内下寒武统木昌组底部的镍钼矿化产生部位较高,即结核层上部以形成富镍钼层和次镍钼层为特征 盆地西北、东南以断裂为界,盆地内下寒武统木昌组底部的镍钼矿化产生部位相对较低,即磷矿层、结核层均构成矿层,以结核层中矿化最好

① 湖南大庸幅(1/20万)地质报告,1969

I 级盆地:古丈-慈利盆地,以花垣-大庸-慈利深大断裂为西北界,南以板溪群中 NE 向断裂为界,构成一个狭长的断陷盆地。

II 级盆地:柑子坪-大浒盆地。

III 级盆地:后坪-柑子坪盆地;大浒-龙潭河盆地。

所划分的 I、II、III 级盆地,是对湘西北镍钼多金属喷气沉积矿床研究的初步总结,还有待今后工作进一步完善。

参 考 文 献

- 1 丁传谱. ××山地区早寒武世牛碛组镍钼多元素富集层形成条件的初步探讨. 中南矿冶学院学报, 1978, (1): 1~15
- 2 范德廉等. 南方几省下寒武统黑色岩系及层状多元素富集层. 沉积岩石学研究, 北京: 科学出版社 1981, 23~45
- 3 李有禹等. 湘西北地区镍钼多金属喷气沉积矿床的矿液上升通道和沉积盆地划分初探. 湘潭矿业学院学报, 1993, (3): 15~22
- 4 郑明华等. 西秦岭南亚热带金-铜-铀成矿带中硅岩的海底喷流沉积特征研究. 成都地质学院学报, 1993, (2): 9~16
- 5 孙一虹. 湘西北下寒武统碳质页岩岩石学. 岩石化学和地球化学研究. 湖南地质, 1986, (1): 1~14
- 6 戴问天. 海底热液沉积成矿——一种新近被认识的普遍重要的成矿作用. 地质与勘探, 1985, (6): 22~28
- 7 Lottermoser B. G Trace element composition of exhalites associated with the Broken Hill sulfide deposit, Australia. Econ. Geol., 1991, 86: 870~877
- 8 Coveney Ir R. M. Gold and platinum in shales with evidence against extraterrestrial sources of metals. Chemical Geology, 1992, 99: 101~114

NEW ADVANCES IN THE STUDY OF ASSOCIATED ELEMENTS IN LOWER CAMBRIAN BLACK SHALE OF NORTHWESTERN HUNAN

Li Youyu

(Xiangtan Mining College, Xiangtan 411201)

Key words: Lower Cambrian, black shale, submarine exhalation, sedimentation, sedimentary basin

Abstract

The area in northwestern Hunan where the Lower Cambrian black shale is most enriched in associated elements Ni and Mo as well as platinum group elements is selected as the study area. A thorough investigation was made on Ni-Mo polymetallic deposits in Dayong County and Cili County in such aspects as strata, structure, ore deposit geology and geochemistry; as a result, abundant geological data was accumulated and new understanding was reached. Ni-Mo polymetallic deposits in Dayong and Cili show characteristics of exhalite and siliceous rock and should belong to typical exhalite in the aspects of chemical composition, trace elements (Se, As), Al-Fe-Mn triangular diagram and oxygen isotope composition ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 17.62\% \sim 20.91\%$); they have unique pipe-like rich orebodies ($\text{Ni} + \text{Mo} = 5.68\% \sim 18.93\%$) as well as special element association of Ni, Mo, Cu, Zn, Se, As, Ba, Au, Ag and Pt group; metal sulfides in ores occur in gel-like form, suggesting rapid accumulation. $\delta^{34}\text{S}_{\text{ore}} = -6.7\% \sim -17.6\%$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{wall rock above ore}} = +3.1\% \sim +24.8\%$, indicating that ore beds are diametrically different from wall rocks; REE

partitioning of ores shows weak negative Ce and Eu anomalies, belonging to weak LREE-rich type, with REE curve somewhat different from that of standard seawater; syngenetic breccia is well developed, and mineralization is obviously controlled by fault structure; ore deposits have two sets of metallogenic systems; in addition, Grade I, Grade II and Grade III sedimentary basins might be distinguished on the basis of geological characteristics of siliceous rock as well as shapes and distribution of Mo-Ni polymetallic orebodies. All the available evidence shows that the enrichment and mineralization of associated elements Ni and Mo as well as platinum group elements in Lower Cambrian black shale in northwestern Hunan were related to submarine exhalation, and the ore deposits are of submarine exhalative-sedimentary type.

+++++

(上接第 334 页 Continued from p. 334)

deposits are mainly scattered in central Hunan area belonging to South China platform(plate); ore-forming fluids are mainly deep-circulating underground hot solutions; mineralization took place in Indosinian-Yanshanian. (4) Copper and lead-zinc gold silver metallogenic series related to Yanshanian hypabyasal-superhypabyssal crust-mantle mixed rocks and intermediate-acid intrusive rocks; ore deposits are distributed in a NNE-trending banded area southeast of Changshoujie-Shuangpai deep fault and northwest of Chaling-Linwu deep fault; mineralization is genetically closely related to the development of Mesozoic intraplated rift and the formation of hot mantle plume; ore-forming fluids are mainly magmatic hydrothermal solutions; mineralization took place in Yanshanian period. (5) Tungsten-tin-lead-zinc-silver-RE-REE metallogenic series; ore deposits are spread in south China area belonging to South China platform(plate); mineralization is genetically closely related to Mesozoic intraplate thrusting, interlayer-gliding and decollement as well as the existence of mantle hot spots; ore-forming process mainly occurred in Yanshanian period. Though distributed in different areas of Hunan Province and characterized by different geological settings and ore-forming processes, these five metallogenic series all have Indosinian-Yanshanian period as the principal ore-forming period, and this must have had to do with the strongest tectonomagmatic thermal event in geological history that took place in Indosinian-Yanshanian period. The summarization and classification of metallogenic series will contribute to summing up regional metallogenic regularity and carrying out ore prognosis in Hunan Province.