

秦岭热水沉积铅锌矿床中硅质岩 特征及成因

吕仁生 隗合明

(西安地质学院, 西安 710054)

主题词 硅质岩 稀土元素 热水沉积

提要 硅质岩是秦岭中泥盆世铅锌矿床中的主要含矿层, 呈层状与围岩整合接触, 但因受海底同生断裂控制呈线状延伸。化学成分及其Fe、Ti、Al、Mn比值变化范围与现代或古代热水沉积物一致或相似。稀土元素以总量低、LREE>HREE、有明显的Ce亏损和中等的Eu正异常为显著特征。氢氧同位素测试数据表明, 形成硅质岩的介质水主要为原生建造水。锶初始比及铅单阶段演化模式年龄反映硅质主要来自硅铝质地壳基底地层或岩石。

硅质岩产于秦岭中、西段铅锌矿带中。该矿带西起甘肃礼县, 经西和、成县、凤县, 东至陕西太白县, 断续出露长约200余公里, 以邓家山、铅碛山、八方山矿床为代表。有关硅质岩成因及物质来源, 以往争论很大, 笔者通过几年来(1985—1989)野外及室内研究, 试图从岩石学、岩石化学、稀土元素地球化学等方面阐明硅质岩为沿海底同生断裂喷溢出的热水沉积成因。

1 地质概况

硅质岩处于秦岭褶皱系华力西—印支冒地槽褶皱带中、西段。沿礼县—山阳断裂带分布, 并受其控制。硅质岩主要赋存于中泥盆统结晶灰岩与千枚岩界面及其附近, 与围岩整合接触, 界线清楚且同步褶曲, 但产状与正常海相沉积物不同, 呈线状延伸, 厚数米—几十米; 宽几百—一千余米, 断续延长几公里—十余公里。膨胀收缩、分支复合现象十分显著。当硅质岩与铅锌矿组成条带状、层纹状构造时, 呈暗色细粒及微粒结构, 反映同生沉积作用特征。当呈石英脉、矿脉出露时, 为粗晶甚至伟晶结构, 反映后生改造作用特征。脉体在硅质岩中相互穿插, 纵横交错, 但在上、下盘围岩中则很少出露, 显示硅质岩与脉体之间具有演化与继承的关系。铅锌矿呈浸染状、条带状、似层状赋存于硅质岩中, 两者密切共生, 表明可能是同源、同一地质作用条件下的产物。

2 岩石学特征

硅质岩呈灰黑色、灰色，一般不具层理，呈块状、条带状、层纹状构造。构成硅质岩的矿物主要为微晶石英，次为铁白云石，总含量可达95%以上。其它为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、重晶石、方解石等。石英呈粒状、柱状，粒径0.01—0.05mm。铁白云石呈半自形、自形菱面体形态，粒径0.05mm。粒状石英与铁白云石彼此镶嵌共生，呈花岗岩镶嵌结构。柱状石英与铁白云石往往相互交织排列，其间充填方解石等碳酸盐矿物，呈显微交织结构。显微镜下微晶石英表面常有溶蚀现象，颗粒间界线清晰，没有胶状硅质连接，表明其形成温度比正常化学沉积的硅质岩高。

硅质岩往往含有炭泥质条纹，有机炭含量0.5%—1.2%，炭质呈弯曲条带和薄膜状产出。含炭泥质薄层中常有黄铁矿、方铅矿显微莓球，偶见闪锌矿、黄铜矿莓球。含显微莓球的炭泥质纹层，推断可能是在菌藻类低等生物参与下同生沉积产物。硅质岩中偶见鲕粒结构，主要由石英、铁白云石组成，粒径0.3—1.2mm，已轻度重结晶，仅个别仍保留残余同心环状构造，说明岩石形成环境中局部水动力条件较强。

硅质岩中，尤其在矿脉附近，常有铁白云石化、硅化、绢云母化等蚀变现象，偶而可见金属硫化物交代充填生物化石的现象。综上所述，硅质岩既有同生沉积特征，又有后生改造迹象，还有类似岩浆岩的组构，并且形成温度较高。推断它是沿海底同生断裂喷溢出的热水沉积物，经后生改造而成。

3 岩石化学特征

硅质岩化学成分列于表1，其常量元素含量与日本田野玉川矿床变质燧石岩相当^①，而变质燧石岩被认为是海底热泉携带大量硅质进入海盆后沉积形成的。所不同的是邓家山



图1 铅硐山硅质岩的Fe—Mn—(Cu+Ni+Co) × 10三角图

Fig. 1 Fe—Mn—(Cu+Ni+Co) × 10 diagram for Qianlongshan silicalites

A—水成沉积物区；B—红海热水沉积物区；
C—东太平洋中脊沉积区；D—热水沉积物区；
▲—铅硐山硅质岩

等三矿区硅质岩中SiO₂含量稍低(62.45%—82.33%)，这可能是由于含矿硅质岩本身含杂质较高所致。另外CaO含量(3.85%—6.29%)明显高于田野玉川矿区，可能是由于硅质岩下盘为碳酸盐岩，在热水喷出和沉积时，有较多的碳酸盐混入。Bostrom (1983) 等研究了现代热水沉积物和古代类似物之后提出，可用Fe/Ti、Al/(Al+Fe+Mn)、(Fe+Mn)/Ti比值来区别热水沉积物与正常海相沉积物。从表2可见邓家山等三矿区硅质岩全部符合热水沉积物判别值，是热水沉积作用的典型产物。

热水沉积物的另一标志是富Fe、Mn而贫Cu、Ni、Co，Bostrom(1983)

① 渡边武男等，1974，田野玉川矿山的变质层状锰矿、火山活动与成矿作用。冶金工业部地质研究所编译。

等提出热水沉积物的元素组成在 $Fe-Mn-(Cu+Ni+Co) \times 10$ 的三角图上有明显的集中区, 铅硐山矿区硅质岩的投点落在热水沉积范围内, 并近于铁的端员(图 1)。

表 1 不同矿区硅质岩化学成分对比

Table 1 Comparison in chemical composition between silicalites from various mining areas

化学成分	顺序号	1	2	3	4
	矿床	八方山	铅硐山	邓家山	田野玉川
	样品数	2	3	4	8
SiO ₂		82.33	62.45	72.52	92.31
TiO ₂		0.08	0.07	0.12	0.23
Al ₂ O ₃		1.77	1.09	1.76	2.89
Fe ₂ O ₃		0.41	8.85	1.35	0.48
FeO		1.84	6.81	2.93	0.94
MnO		0.08	0.26	0.14	0.25
MgO		1.00	1.23	1.75	0.95
Na ₂ O		0.08	0.07	0.04	0.33
K ₂ O		0.58	0.24	0.14	0.45
CaO		3.85	5.43	6.29	0.47
Cu(ppm)			116.1		
Co			48		
Ni			50		

分析者: 1、2、3矿床由西安地质矿产研究所化验室分析。

表 2 不同矿区硅质岩化学元素比值

Table 2 Chemical element ratios of silicalites from various mining areas

矿区	样品数	Fe/Ti	Al/(Al + Fe + Mn)	(Fe + Mn)/Ti
热水沉积判别值		>20	<0.35	>20
八方山	2	30.15	0.35	31.28
铅硐山	3	235.20	0.10	239.39
邓家山	4	26.89	0.35	39.89

4 稀土元素地球化学特征

对邓家山等三个矿区出露的岩(矿)石系统采集到9个样品,用等离子体光谱分析法测定,分析结果列于表3。我们用Herman(1971)22个球粒陨石稀土元素平均值为标准,将所分析的岩(矿)石样品稀土元素含量标准化后绘制成图(图2,3)。从这些图表可看出岩(矿)石的稀土元素地球化学特征如下:

硅质岩和矿石稀土元素总量低并且很接近, $\Sigma\text{REE}=4.97-27.04(\text{ppm})$, 平均16.09(ppm)。含矿硅质岩层产于细晶灰岩(下盘)与千枚岩(上盘)之间,整合接触,界线清楚。上下盘围岩依据产状、岩相古地理、古生物特征、稀土元素总量分析(表4)以及与北美地台粘土岩($\Sigma\text{REE} 216\text{ppm}$)、碳酸盐岩($\Sigma\text{REE} 27\text{ppm}$)相比,应是正常海相沉积岩。含矿硅质岩虽亦为沉积岩,但其产出呈线状,并受断裂带控制,反映了硅质岩是由海底面以下沿断裂喷溢到海底的热流体层稳定于海底而不与正常海水相混合,长期保持相对为还原沉积环境下的产物。

硅质岩与矿石的稀土元素配分型式基本一致,为一向右倾的曲线(图2,3), $\text{LREE}/$

表3 岩石和矿石的稀土元素含量(ppm)

Table 3 REE contents of rocks and ores

岩(矿)石名称	硅质岩						铅锌矿石		
	八方山		铅铜山		邓家山		邓家山		
矿区	1	2	3	4	5	6	7	8	9
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La	27.2	2.54	2.45	2.59	6.00	4.82	4.81	2.63	1.05
Ce	2.63	2.00	2.95	6.60	4.86	5.59	1.04	2.67	1.30
Pr	1.00	0.60	0.84	3.08	1.29	1.27	1.89	0.78	0.58
Nd	2.38	1.42	1.84	5.38	4.47	3.23	4.50	2.03	0.39
Sm	0.63	0.42	0.51	2.86	2.03	0.89	0.68	0.51	0.12
Eu	1.03	0.32	0.17	0.35	0.67	0.69	0.44	0.39	0.18
Gd	0.71	0.25	0.43	0.90	0.77	0.77	0.77	0.35	0.16
Tb	0.15	0.10	0.11	0.70	0.10	0.15	0.10	0.06	0.06
Dy	0.88	0.27	0.30	0.71	0.73	0.77	0.59	0.39	0.29
Ho	0.21	0.07	0.09	0.34	0.15	0.15	0.14	0.10	0.06
Er	0.42	0.16	0.31	1.15	0.40	0.37	0.40	0.20	0.13
Tm	0.05	0.02	0.03	0.31	0.06	0.06	0.06	0.03	0.02
Yb	0.29	0.10	0.20	0.33	0.36	0.35	0.34	0.16	0.08
Lu	0.04	0.02	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06	0.02	0.01
Y	3.23	1.19	1.29	1.07	2.46	2.46	2.84	1.13	0.54
ΣREE	16.37	9.48	11.56	27.04	24.41	20.86	18.66	11.45	4.97
LREE/HREE	3.78	7.37	5.80	4.76	9.35	8.91	5.43	6.88	4.47
δEu	5.49	3.02	1.18	0.54	1.45	2.73	2.05	2.90	4.83
δCe	0.33	0.33	0.43	0.44	0.35	0.46	0.07	0.68	0.34
Sm/Nd	0.26	0.30	0.28	0.53	0.45	0.28	0.15	0.25	0.31
La/Yb	9.37	25.40	12.25	7.85	16.70	13.77	14.15	16.44	13.13
$\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$	0.7221 ± 0.0003	0.7296 ± 0.0018	0.7143 ± 0.0002				0.71666	0.71265	

测试者:北京铀矿地质研究所周子夏等。

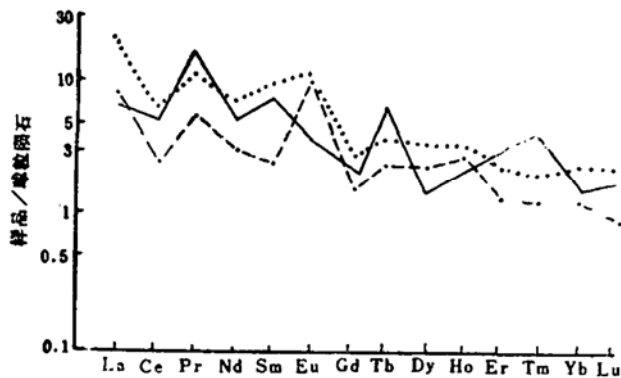


图 2 硅质岩的稀土元素配分型式
Fig. 2 REE distribution patterns of silicalite

1、2—八方山矿区硅质岩(平均值); 3、4—铅矾山矿区硅质岩(平均值); 5、6—邓家山矿区硅质岩(平均值); 7、8、9—均为邓家山矿区铅锌矿石

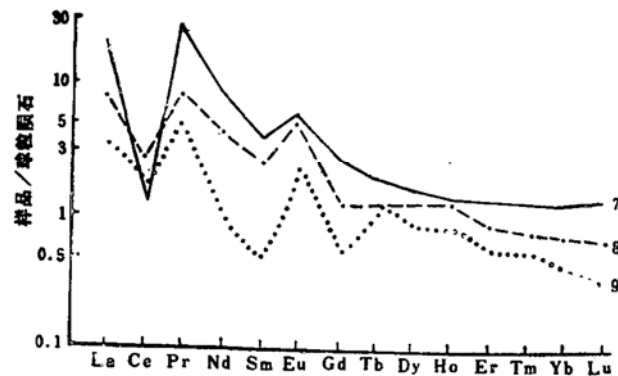


图 3 铅锌矿石的稀土元素配分型式
Fig. 3 REE distribution patterns of lead-zinc ore

表 4 硅质岩上下盘岩石稀土元素总量

Table 4 REE contents of the rocks overlying and underlying the silicalites

硅质岩上下盘岩石名称	样品数	产地	稀土元素总量 (ppm)	平均值 (ppm)
千枚岩(上盘)	6	八方山	161.85—216.55	190.98
结晶灰岩(下盘)	3	邓家山 铅矾山	29.35—41.35	36.38

测试者: 北京铀矿地质研究所周子夏。

HREE=3.78—9.35, 平均6.31, 呈轻稀土富集型。除个别样品外(一个样 $\delta\text{Eu}=0.54$), Eu具有明显的正异常, 铈异常强度系数 $\delta\text{Eu}=0.54—5.49$, 平均2.69, Ce强烈亏损, $\delta\text{Ce}=0.07—0.68$, 平均0.38。Fleet (1983)、Michard (1983) 分别研究了现代和古代热水沉积和水成沉积的稀土元素, 指出热水沉积物的特点是稀土总量低; 轻稀土含量大于重稀土; 有明显的Eu正异常和强烈的Ce亏损。和本区硅质岩稀土元素地球化学特征全完一致, 为本区岩(矿)石的热热水沉积成因提供了佐证。Sm/Nd=0.15—0.53, 平均0.31, La/Yb=7.85—25.4, 平均14.34。结合岩石化学特征(K>Na, 贫Ca、Fe、Mg)和锶初始比 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71265—0.7296$, 均大于0.7100, 反映了主要为地壳源的特征。硅质岩与铅锌矿石样品的稀土元素配分型式非常一致(图2,3), 稀土元素含量及其地球化学参数亦大体相似(表3), 说明两者为物质来源近于一致, 地质作用条件近于相同的产物。

5 成因探讨

在秦岭泥盆系铅锌成矿带中普遍存在着一种与矿体密切伴生的硅质岩, 它是本区最主要的含矿层位。成矿带北缘的礼县—山阳断裂为一条长期活动的深断裂, 控制了其南北两侧泥盆纪的沉积作用。北侧为深陷沉降带, 沉积了厚达万米以上的陆源碎屑, 南侧为浅水

台地，形成了富含生物化石的碳酸盐岩与硅质岩。硅质岩虽与围岩整合接触且同步褶曲，但其产状与正常沉积岩不同，呈线状延伸，宽数百—千余米、长（断续）几公里—十余公里。

硅质岩为在中泥盆世浅海断陷盆地中，由沿海底同生断裂喷出的含矿质、硅质热卤水沉积而成，岩石化学特征证明了这一论点。不同矿区硅质岩化学元素比值完全符合热水沉积判别值： $Fe/Ti > 20$ ， $Al/(Al + Fe + Mn) < 0.35$ ， $(Fe + Mn)/Ti > 20$ （表 2）。在 $Fe-Mn-(Cu + Ni + Co) \times 10$ 的三角图上，投点完全落在热水沉积范围内（图 1）。稀土元素地球化学特征也证明了硅质岩的热水沉积成因这一论点：稀土元素总量低，平均 16.09 (ppm)；Ce 强烈亏损， δCe 平均 0.38；Eu 具明显正异常， δEu 平均 2.69；稀土配分型式右倾， $LREE/HREE$ 平均 6.31，呈轻稀土富集型。其岩石化学特征 $K > Na$ ，贫 Fe、Mg、Ca，锶初始比 > 0.7100 ，反映了地壳源的特征。

三个矿区 14 个样品的铅同位素分析结果表明模式年龄均为正值，绝大多数在 390—552

表 5 邓家山平衡溶液氢氧同位素组成

Table 5 Hydrogen and oxygen isotope compositions of balanced solution in the samples Dengjiashan

产 状	矿 物	均一温度 °C (平均值)	$\delta^{18}O_{\text{‰}}$	$\delta^{18}O_{H_2O_{\text{‰}}}$	$\delta D_{H_2O_{\text{‰}}}$
硅质岩层	石英	100	19.00	-1.89	-65.5
			22.00	+1.21	-87.9
			21.45	+0.56	-70.2

分析单位：北京铀矿地质研究所。

百万年之间，老于中泥盆统含矿地层的年龄（中泥盆统 370—360Ma），说明含矿地层不具

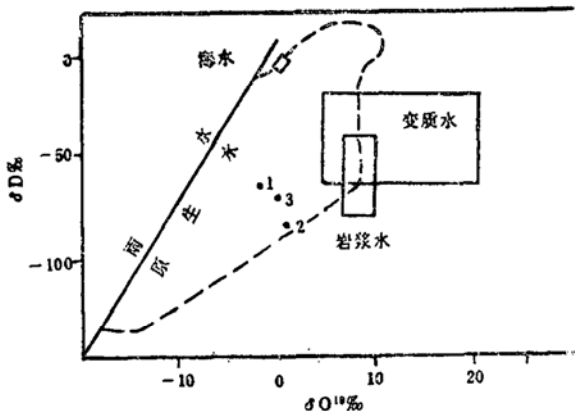


图 4 邓家山成矿流体 $\delta^{18}O_{H_2O}-\delta D_{H_2O}$ 关系图
Fig. 4 $\delta^{18}O_{H_2O}-\delta D_{H_2O}$ diagram for metallogenic fluids in the samples from Dengjiashan

有矿源层的意义，反映成矿物质可能来源于基底地层和岩石。邓家山 3 个石英样品 $\delta^{18}O$ 值介于 19.00‰—22.00‰，用最佳均一温度 100℃，按 R. N. Clayton (1972) 的分馏方程 $1000 \ln a_{Q-H_2O} = 3.38 + 10^6 T^{-2} - 3.40$ ，计算与石英平衡的矿液水 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 -1.89‰—+1.21‰，连同包裹体的氢同位素分析结果列于表 5，并绘制出图 4，表明成矿流体主要为原生建造水，也可能有少量大气降水及下渗海水参与（丁悌平，1980）。

围岩蚀变不发育, 硅质岩中后生脉体具有继承性及原地性, 表明后期改造作用是在相对封闭系统中进行, 没有外来组份的明显带入, 因此改造作用在金属富集过程中不起重要作用。

6 小结

1. 硅质岩为中泥盆世沿海底同生断裂喷溢出的热水沉积物, 呈层状与围岩整合接触且同步褶皱, 但产状与正常沉积岩不同, 呈线状延伸, 长度远远大于宽度。

2. 硅质岩化学成分及其Fe、Ti、Al、Mn等元素比值变化范围, 与现代或古代热水沉积物一致或相似。

3. 稀土元素总量低, LREE>HREE, 有明显的Ce亏损和中等的Eu正异常。

4. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}>0.7100$, 铅同位素模式年龄绝大部分老于泥盆世含矿地层的年龄, 说明硅质可能来自硅铝质地壳基底地层或岩石。

5. 与铅锌矿共生的石英流体包裹体氢氧同位素表明成矿流体主要为原生建造水。工作中承蒙曾章仁副教授大力帮助, 并提供了许多测试数据, 仅表谢意。

Characteristics and Genesis of the Silicalites in Hot-Water Sedimentary Lead-Zinc Deposits in the Qinling Mountains

Lu Rensheng Wei Heming

(Xi'an College of Geology, Xi'an 710054)

Key words: silicalite; REE; hot water sediments

Abstract

The silicalites dealt with in this paper are a kind of silica-rich rock which occur in the middle Devonian lead-zinc deposits in the Qinling Mountains. They take the form of layer which are conformable with the underlying and overlying rocks. As they are controlled by a syndepositional fault system, the silicalites are distributed in the form of lines.

The geochemical properties of Fe, Ti, Al, Mn and other elements are coincident with or similar to those of recent and fossil hot water sediments. Moreover, the silicalites are also characterized by lower REE contents, LREE>HREE, apparently negative Ce anomaly and weakly positive Eu

anomaly.

The hydrogen and oxygen isotope data of the inclusions suggest that the metallogenic fluids forming the silicalites mostly came from the hydrothermal solutions in deep-seated rocks. According to the Doe method, the lead single-stage model ages calculated are mainly between 390—552Ma, older than those of the middle Devonian strata thus also implying that lead was derived possibly from the basement rocks.

As main ore-bearing rocks, the silicalites are neither the product of volcanic exhalation, nor the product of marine deposition, but their features are similar to those of the sea-floor exhalogene deposit.

www.yskw.ac.cn