

凤-太盆地硅质岩系地球化学特征及热水成矿效应

李强

(长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

摘要: 陕西凤(县)-太(白县)泥盆纪沉积盆地内硅质岩系分布广泛, 硅质岩系的岩石组合主要为硅质铁白云岩、铁白云石硅质岩和硅质岩。其产状稳定, 延伸较远, 与区域矿产关系密切。通过野外观测、显微镜研究、等离子质谱及电子探针等分析, 对盆地内八卦庙金矿和八方山铅锌矿成岩-成矿硅质岩系的硅质岩系常量、微量及稀土元素的地球化学特征进行了详细研究。结果表明, 硅质岩系富含 Fe、Mn, 而贫 K、Na 和 Ti, Fe_2O_3/FeO 值小于 1, 为还原环境沉积形成; Fe、Ti、Mn 和 Al 元素含量比值反映了其沉积位置为大陆边缘; 硅质岩系中 Pb、Zn 和 Cu 富集明显, 稀土元素具有总量低 ($12.10 \times 10^{-6} \sim 40.46 \times 10^{-6}$), 轻重稀土元素分异较明显 (2.34 ~ 8.68), 球粒陨石标准化配分曲线呈右倾趋势, 铈和铕均为中等负-弱正异常。硅质岩、铁白云石硅质岩和硅质铁白云岩中的铈异常变化规律反映了沉积环境由还原向氧化条件的系统变化特征。

关键词: 硅质岩系; 地球化学; 热水沉积; 凤-太盆地

中图分类号: P611.2⁺2; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)03-0243-08

Geochemistry of siliceous rocks and effect of hydrothermal mineralization in Fengxian-Taibai basin, Shaanxi Province

LI Qiang

(School of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

Abstract: Siliceous rocks are widely distributed in Fengxian-Taibai basin and composed mainly of siliceous ankerite-ankeritic siliceous rocks-siliceous rocks, characterized by stable and long extension and a close relationship with regional mineralization. Therefore, the survey and study of the genesis of these siliceous rocks help conduct regional prospecting. Based on field observation, microscopic examination, LRM and electron microprobe analysis, the author investigated geochemical characteristics of siliceous rocks in such aspects as major elements, trace elements and rare earth elements. It is shown that concentrations of Fe and Mn in siliceous rocks are high whereas concentrations of K, Na and Ti are low in these rocks. The Fe_2O_3/FeO ratios are lower than 1, suggesting that they were formed in a relatively reduction condition. The Fe, Ti, Mn and Al concentrations also imply that the depositional environment of siliceous rocks belongs to a continental margin. Pb, Zn and Cu in siliceous rocks are obviously concentrated. The $\sum REE$ values are low ($12.10 \times 10^{-6} \sim 40.46 \times 10^{-6}$) and the differentiation between LREE and HREE is evident (2.34 ~ 8.68). The chondrite-normalized REE patterns of siliceous rocks are inclined to the right, and Ce and Eu assume intermediately negative-positive anomalies. The variation of Ce anomalies from siliceous rocks to siliceous ankerite also indicates that the depositional environment changed from reduction to oxidation.

Key words: siliceous rocks; geochemistry; hydrothermal deposition; Fengxian-Taibai basin

收稿日期: 2008-11-07; 修订日期: 2009-02-05

基金项目: 中国地质调查局综合研究项目(1212010511807); 长江大学科技发展基金项目

作者简介: 李强(1972-), 博士, 讲师, 主要从事矿产资源评价与预测研究, E-mail: liq2000@163.com。

陕西省凤(县)-太(白县)泥盆纪沉积盆地是秦岭成矿带中重要的多金属矿集区,目前已发现矿产地70多处,矿产以金和铅锌为主。盆地内金矿与铅锌矿产出层位稳定,均赋存于中上泥盆统中,表现出很好的层控性。金矿主要赋矿地层为上泥盆统星红铺组,铅锌矿主要赋矿地层为中泥盆统古道岭组。值得注意的是在两类矿床的含矿层位内部或附近都产出一套硅质岩系,呈层状、似层状整合于中泥盆统古道岭组碳酸盐岩与上泥盆统星红铺组千枚岩之间,延伸稳定,与矿床关系密切。因此,研究这套硅质岩系的地质地球化学特征对于认识矿床成因和找矿都具有重要的意义。前人对本区的研究主要集中在热水沉积建造的岩相学、微量元素、稳定同位素及稀土元素的分析,以此来揭示热水沉积作用与沉积环境、沉积盆地的关系(祁思敬等,1993;王相等,1996;王集磊等,1996;薛春纪,1997),但对热水沉积岩成岩成矿的方式与背景等研究鲜有涉及。本文较系统地研究了凤-太盆地内硅质岩系的岩石学和地球化学特征,分析其成岩-成矿作用,探讨了硅质岩系成岩成矿背景与成矿作用方式,以期对今后秦岭造山带中沉积盆地的金属矿勘查提供思路。

1 区域地质背景

凤-太盆地属秦岭商(县)-丹(凤县)断裂带南侧的大陆边缘盆地。盆地北界为下古生代丹凤群变质火山岩,南界为礼县-白云-山阳深大断裂,东界为佛坪古陆,西与西成海盆相连(朱华平等,1998)。区内地层主要出露泥盆系,其次为石炭-三叠系。中泥盆统古道岭组下岩段主要为陆源砂岩、岩屑砂岩及砂页岩,属一套陆源中-细碎屑岩;上岩段主要由碳酸盐岩组成,岩性为生物灰岩、含长英质碎屑灰岩、白云质灰岩等;上泥盆统星红铺组为以粉砂岩、砂页岩为主的浊积岩系,属钙质细碎屑岩(王集磊等,1996)。盆地内发育王家楞-青崖沟等一系列的伸展断裂(图1)。

2 硅质岩系的产状及分布

硅质岩系是凤-太盆地较有特色的热水沉积岩类。该系列岩石组合主要有硅质铁白云岩、铁白云石硅质岩和硅质岩。岩石呈灰白色-灰黑色,颜色随

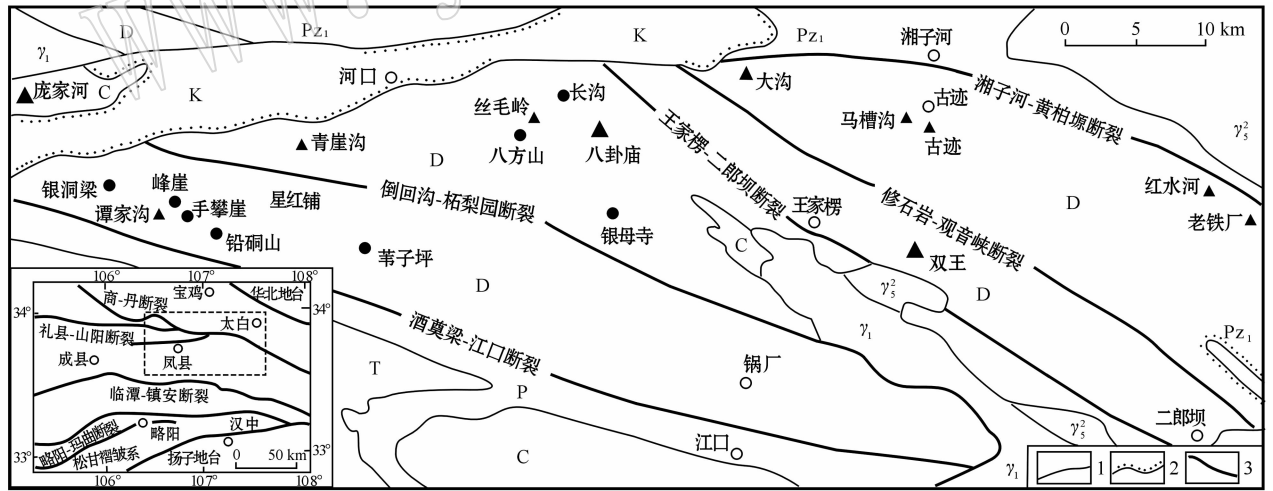


图1 凤县-太白矿田地质矿产分布及构造位置图(据西北有色地质研究院,1994)

Fig. 1 Geological map showing distribution of mineral resources and structural positions of the Fengxian-Taibai ore field (after Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals, 1994)

K—白垩系; T—三叠系; P—二叠系; C—石炭系; D—泥盆系; Pz₁—下古生界; γ_1 —太古宙花岗岩; γ_2 —燕山期花岗岩; ●—铅锌矿床; ▲—金矿床; 1—地质界线; 2—不整合面; 3—断层
 K—Cretaceous; T—Triassic; P—Permian; C—Carboniferous; D—Devonian; Pz₁—Lower Paleozoic; γ_1 —Archean granite; γ_2 —Yanshanian granite; ●—Pb-Zn ore deposits; ▲—gold ore deposits; 1—geological boundary; 2—unconformity; 3—fault

① 西北有色地质研究所,等. 1994. 陕西八卦庙金矿床成矿地质背景、矿床特征及成矿预测研究(内部资料).

铁白云石含量增加而变浅。在铅锌矿区主要发育硅质岩和铁白云石硅质岩,一般呈层状、似层状和透镜状分布于古道岭组与星红铺组之间,与上下盘岩石接触界限清楚。而在金矿区主要发育硅质铁白云岩,呈层状、似层状分布于星红铺组千枚岩中,与上下盘岩石呈渐变过渡接触关系(图2)。

金矿已开采中段,包括八方山1631 m坑道和八卦庙1340 m中段69穿脉和74穿脉,样品均采自矿体的顶底板围岩中。硅质岩的主要成分是SiO₂,含量在80%以上。主要由微晶、细晶石英组成,粒径为0.01~0.1 mm,镜下呈不规则镶嵌产出,无棱角。硅质岩中Al₂O₃、MnO、MgO、Na₂O和K₂O含量均较低(表1)。硅质岩具有层块状、层纹状构造,大量微晶状、雏晶状石英表明热水受到冷海水环境中急剧降温,发生快速堆积。硅质岩中微-细晶石英呈半自形等粒结构,粒度0.05~0.07 mm,石英晶粒紧密镶嵌,界限清楚。局部重结晶的硅质岩呈细晶结构,石

3 硅质岩系地球化学特征

3.1 化学组成

研究所用样品主要采自八方山铅锌矿和八卦庙

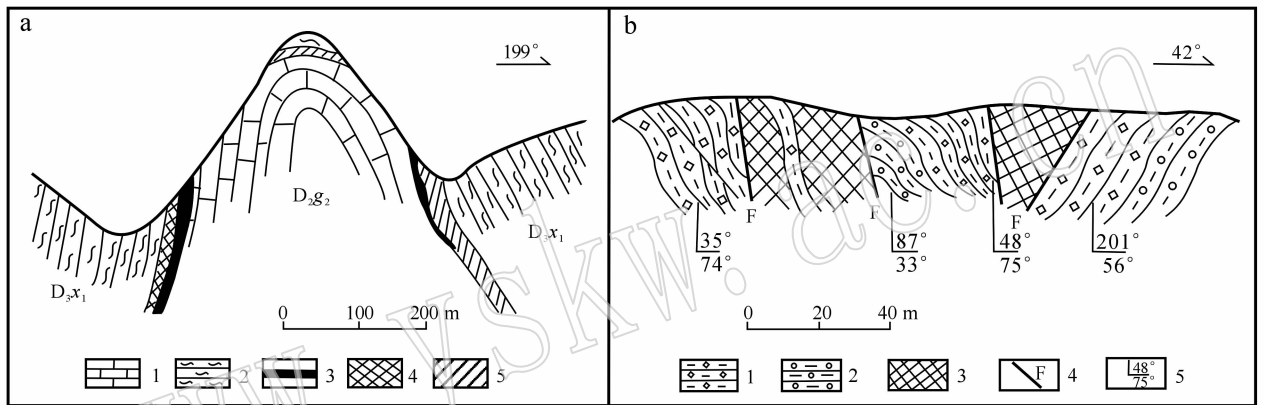


图2 八方山铅锌矿(a)与八卦庙金矿(b)剖面图

Fig. 2 Geological section of the Bafangshan lead-zinc deposit(a) and the Baguamiao gold deposit(b)

a: 1—中泥盆统古道岭组灰岩; 2—上泥盆统星红铺组千枚岩; 3—铜矿体; 4—铅锌矿体; 5—铅锌矿化体(硅质岩)

b: 1—硅质铁白云岩; 2—斑点状千枚岩; 3—金矿体; 4—断裂; 5—产状

a: 1—limestone of Middle Devonian Gudaoling Formation; 2—phyllite of Upper Devonian Xinghongpu Formation; 3—copper ore body; 4—Pb-Zn ore body; 5—Pb-Zn mineralized body (silicalite);

b: 1—siliceous ankerite; 2—maculose phyllite of Upper Devonian Xinghongpu Formation; 3—gold ore body; 4—fault; 5—attitude

表1 凤-太盆地硅质岩系主元素组成

w_B/%

Table 1 Element composition of siliceous rock in Fengxian-Taibai basin

岩性	硅质岩			铁白云石硅质岩				硅质铁白云岩				硅质岩 ^c	
	BF27 ^a	BF28 ^a	BF24 ^a	BF48 ^a	BFS7	BFS3	BFS6	E-8 ^b	E-7 ^b	BGM3	BGM8	大厂	检德
SiO ₂	88.84	81.93	89.44	75.29	78.31	65.08	62.64	34.65	32.25	69.24	56.05	91.06	93.63
TiO ₂	0.08	0.13	0.00	0.28	0.35	0.53	0.22	0.04	0.04	0.71	0.58	0.09	0.10
Al ₂ O ₃	2.12	3.87	0.59	3.77	3.12	20.57	16.63	0.62	1.15	18.21	13.10	1.97	0.58
FeO	0.48	1.85	1.38	3.70	4.55	3.33	4.02	27.06	9.33	11.57	13.21	1.07	0.86
Fe ₂ O ₃	0.12	0.41	0.01	0.66	1.71	0.83	2.26	0.76	2.68	0.19	1.90	0.74	0.16
MnO	0.02	0.05	0.05	0.09	0.14	0.20	0.07	0.94	0.42	0.24	0.15	0.12	0.04
MgO	0.50	1.34	0.76	1.89	1.73	2.39	3.09	2.13	2.30	0.00	2.31	0.20	1.28
CaO	3.57	3.46	3.04	5.49	6.97	4.30	4.47	3.84	10.49	0.04	6.36	1.25	2.25
Na ₂ O	0.08	0.07	0.03	0.07	0.28	1.10	1.45	0.02	0.00	0.35	4.43	0.27	0.16
K ₂ O	0.66	1.09	0.18	1.15	0.84	0.61	4.45	0.13	0.34	0.13	1.34	0.55	0.20
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.01	0.12	0.11	0.25	0.12			0.09	0.27		
Total	100.19	99.98	99.52	99.83	99.11	99.19	99.42			100.77	99.70		
FeO/Fe ₂ O ₃	4.0	4.51	13.8	5.61	2.66	3.97	1.78	35.60	3.48	60.89	6.96	1.45	5.37

注:采用化学定量法分析,测试单位:西安地质矿产研究所,a 据韦龙明(2003),b 据方维萱(1999a),c 据王集磊(1996),空白为未分析。

英表面干净,颗粒边界较平直。以上特征与南秦岭东部泥盆系热水沉积盆地内的典型热水沉积岩的特征(方维萱,1999b;薛春纪,1997;薛春纪等,1997;朱华平等,2004)十分相似。铁白云石硅质岩及硅质铁白云岩的 FeO、MnO、MgO 和 CaO 含量相对较高,主要是由铁白云石、菱铁矿等铁镁碳酸盐矿物引起的。SiO₂ 含量一般在 80% 以下,而且含量变化大。前人研究认为硅质铁白云岩的成因是富 Fe²⁺、Mg²⁺、

CO₃²⁻ 型热水与富 SiO₂ 型热水混合同生沉积,并伴有同生交代作用(方维萱,1999a)。

从化学组成来看,硅质岩系与正常生物化学沉积型不同,与火山沉积型也有差别,而与海底热泉沉积型接近(表2)。本区所有样品的 Fe₂O₃/FeO 值均 < 1。因此,硅岩建造沉积时为还原环境,有别于生物成因硅质岩和区域正常水成因沉积岩。

表2 不同成因硅质岩的化学成分比值对比表

Table 2 Chemical composition ratios of siliceous rocks of different geneses

成因类型	生物化学沉积	火山沉积	海底热泉沉积	凤太盆地		热水沉积
产地	母河 ^a	国外 ^a	野田 ^a	八方山	八卦庙	银洞子 ^b
样数	8	4	2	2	2	6
Fe ₂ O ₃ /FeO	4.40	0.46	0.51	0.32	0.47	0.53
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	107.00	43.70	32.00	47.70	5.23	3.06
SiO ₂ /MgO	346.00	69.30	97.20	75.00	18.50	70.92
SiO ₂ /(Na ₂ O + K ₂ O)	235.00	36.00	183.10	149.90	11.80	8.20

注:a 据王集磊(1996),b 据薛春纪(1991)。

3.2 微量元素地球化学

通过研究现代热水沉积物和古代类似沉积物,Bostrom(1983)指出,热水来源的硅质岩明显富集 Si、Fe 和 Mn,而贫 Al、Ti、K 和 Na,并且提出热水沉积物的 Fe/Ti、Al/(Al + Fe + Mn) 和 (Fe + Mn)/Ti 值分别 > 20、< 0.35、> 25 (+5) 以区别于正常海水沉积物。因为热水沉积区 Fe 和 Mn 含量高,且紧密伴生,呈正相关关系;与之相反,正常海相沉积物中陆源碎屑物混入会造成 Al、Ti 相对集中,Fe 和 Mn 分离。因此,上述比值常作为判断热水沉积作用的有用指标。然而,由于热水沉积作用并非仅发生于洋中脊或深海盆地,所以常见到有些典型热水沉积岩与上述指标存在差异。研究区硅质岩系的相应比值见表3,可以看出各样品比值并不完全符合 Bostrom(1983)的判别值,主要是由于陆源碎屑物不同程度混入,导致 Al₂O₃、TiO₂ 含量较高所致。此外,许多研究结果表明,MnO 一般来自大洋深部,而 TiO₂ 则来自陆源碎屑物,因此离大陆较近的大陆边缘沉积的硅质岩,MnO/TiO₂ 值较低,一般 < 0.5;而开阔大洋中的硅质沉积物的 MnO/TiO₂ 值较高,一般 > 0.5(Bostrom *et al.*, 1973; Adachi *et al.*, 1986)。本次所测试 5 件硅质岩样品的 MnO/TiO₂ 比值(表3)变化范围为 0.32 ~ 0.40,表明本区泥盆纪硅质岩主要为大陆边缘浅海热水沉积的产物。这与利用 Fe/Ti 等比值判断其成因所得结论是一致的。

Rona(1983, 1988)、Yamamoto 等(1987)指出, Ba、As、Sb、Bi、Ga、U 等元素含量较高是热水沉积的重要特点。Marchig(1982)也指出,Sb 和 As 富集是热水沉积物区别于正常沉积物的重要标志,并可用来区别热水沉积物和远洋沉积物。研究区硅质岩系的微量元素含量变化较大(表4),从表4中可以看出,硅质岩系中 Pb、Zn 和 Cu 均发生明显的富集,其中八方山铅锌矿的硅质岩中 Cu 含量高出于盆地内金矿的铁白云岩系铜含量近十倍,可能反映了两类矿产成矿流体性质的差异,或者在铅锌成矿过程中,存在有一个含铜较高的热水沉积过程。

3.3 稀土元素地球化学

稀土元素分析数据(表5)显示,硅质岩系的 REE 含量变化范围为 12.10 × 10⁻⁶ ~ 40.46 × 10⁻⁶,明显低于围岩-铁白云石千枚岩 178.18 × 10⁻⁶ ~ 255.57 × 10⁻⁶,且低于下地壳 Σ REE 含量(54 × 10⁻⁶),暗示了成岩成矿物质可能来自于地壳更深处,且有海水(Σ REE = 0.026 × 10⁻⁶)不同程度的混入。轻重稀土元素分异明显(2.34 ~ 8.68)。由硅质

表3 硅质岩系 Fe、Ti、Mn、Al 含量比值表

Table 3 Fe, Ti, Mn, Al ratios of siliceous rocks

样品编号	BFS7	BFS3	BFS6	BGM3	BGM8
Fe/Ti	31.55	16.00	15.08	21.42	33.32
Al/(Al + Fe + Mn)	0.25	0.76	0.64	0.51	0.37
(Fe + Mn)/Ti	32.25	16.76	15.24	21.85	33.64
MnO/TiO ₂	0.40	0.37	0.32	0.33	0.25

表4 凤-太盆地硅质岩系部分微量元素含量

 $w_B/10^{-6}$

Table 4 Trace element contents of siliceous rocks in Fengxian-Taibai basin

矿床	八卦庙		八方山		银母寺	手搬崖	区域背景 ^c
	硅质铁白云岩	硅质铁白云岩 ^a	铁白云石硅质岩	铁白云石硅质岩 ^b	硅质铁白云岩 ^b	硅质灰岩 ^b	
岩性							
样数	2	3	3	22	6	4	689
Cu	40	66	782	300	313	36	27
Pb	55	23	11	105	62	40	7.31
Zn	235	70	50	115	89	42	107
Ni	33	21	37	123	16	32	
Co	16	18	30	54	23	21	
Mn	192	179	181	202	575	1 225	281
Mo	0.6	0.7	0.45	0.55	0.91	0.50	
Ba	375	230	733	68	180	27	351

分析单位:长安大学国土资源部成矿作用及其动力学开放研究实验室,仪器型号:JXA-8100, a 据韦龙明(2004), b 据方维宣(2000a), c 据陕西地质调查院(2003)^①,空格为未分析。

表5 凤-太盆地硅质岩及地层稀土元素分析结果

 $w_B/10^{-6}$

Table 5 REE composition of siliceous rocks and strata in Fengxian-Taibai basin

岩性	硅质铁白云岩 ^a	硅质铁白云岩 ^a	铁白云石硅质岩	铁白云石硅质岩	硅质岩	硅质岩	铁白云质千枚岩	钠化铁白云千枚岩
La	3.44	3.62	3.21	2.18	4.79	3.34	30.79	45.24
Ce	8.54	8.55	5.48	4.94	5.66	3.79	63.46	92.47
Pr	0.89	1.33	0.55	0.68	0.75	0.60	7.02	10.29
Nd	5.92	6.19	1.97	3.17	1.84	2.44	27.53	40.2
Sm	1.03	1.68	0.38	0.96	0.42	0.57	5.458	7.543
Eu	0.39	0.39	0.17	0.22	0.07	0.11	1.208	2.07
Gd	1.74	1.71	0.60	1.04	0.35	0.39	6.235	8.864
Tb	0.41	0.24	0.06	0.20	0.05	0.07	0.789	1.108
Dy	3.53	3.49	0.41	1.29	0.33	0.30	4.377	6.171
Ho	0.28	0.18	0.08	0.26	0.08	0.07	0.867	1.184
Er	1.13	1.08	0.26	0.79	0.24	0.22	2.739	3.621
Tm	0.16	0.25	0.04	0.11	0.04	0.03	0.386	0.488
Yb	1.14	1.16	0.29	0.68	0.26	0.15	2.689	3.304
Lu	0.25	0.10	0.04	0.09	0.44	0.02	0.399	0.484
Y	11.61	11.77	2.15	6.63	1.54	1.36	22.59	29.91
ΣREE	40.46	41.74	15.69	23.23	16.86	12.10	178.18	255.57
HREE	8.64	8.21	1.78	4.46	1.79	1.25	20.32	28.05
LREE	20.21	21.76	11.76	12.15	13.53	10.85	135.27	197.61
LREE/HREE	2.34	2.65	6.61	2.72	7.56	8.68	6.65	7.04
La/Yb	1.75	1.81	6.41	1.85	10.67	12.90	6.63	7.93
δEu	0.90	0.71	1.10	0.68	0.55	0.69	0.64	0.78
δCe	1.13	0.91	0.90	0.95	0.64	0.59	0.98	0.98

分析单位:长安大学国土资源部成矿作用及其动力学开放研究实验室,仪器型号:美国热电 X-7 型电感耦合等离子体质谱, a 据祁思敬等(1993)。

铁白云岩→铁白云石硅质岩→硅质岩,轻、重稀土元素总量逐渐降低。硅质岩系 δEu 为 0.55 ~ 1.10, 表现为弱负-弱正铕异常。δCe 为 0.59 ~ 1.13, 为中等 Ce 负异常-正异常。许多学者研究指出,热水沉积物中 Ce 均表现出一定程度的亏损,由于 Ce 从海水中大量迁移主要发生在开阔大洋,所以不同大地构造环境中 Ce 亏损程度表现不同(Henderson, 1984;

Murray *et al.*, 1990)。Murray 等(1991)在研究了美国西海岸加利福尼亚州侏罗-白垩纪硅质岩后指出,洋中脊环境表现为强 Ce 负异常,δCe 平均值为 0.30;大洋盆地环境 Ce 负异常明显,δCe 平均值为 0.55;大陆边缘环境 Ce 一般为弱负异常,有时为正异常,δCe 变化范围为 0.79 ~ 1.54。本区硅质岩 δCe 值在 0.59 ~ 1.13, 平均 0.85, 因此其大地构造位置应

① 陕西地质调查院. 2003. 陕西旬北地区铅锌矿评价 2003 年综研究总结报告(内部资料)。

属大陆边缘,这也与微量元素分析结论吻合。由硅质岩→铁白云石硅质岩→硅质铁白云岩, δCe 由 0.62→0.92→1.01, 暗示了沉积环境由还原向氧化的系统变化,同时也反映了热水沉积成岩过程中,硅质岩是由一种质纯、密度大、富含 SiO_2 的热卤水在盆地(底)部沉积形成,向上由于海水的混入,逐渐过渡到铁白云石硅质岩和硅质铁白

云岩,最后为正常海相沉积岩。其沉积环境也相应的由还原向氧化过渡。稀土元素配分型式(图3)的总体特征是围岩铁白云石千枚岩为典型的右倾曲线,而硅质铁白云岩配分型式较复杂。这些稀土元素特征与南秦岭典型热水沉积岩石具有很好的相似性,可以断定其成因类型属于热水沉积成因。

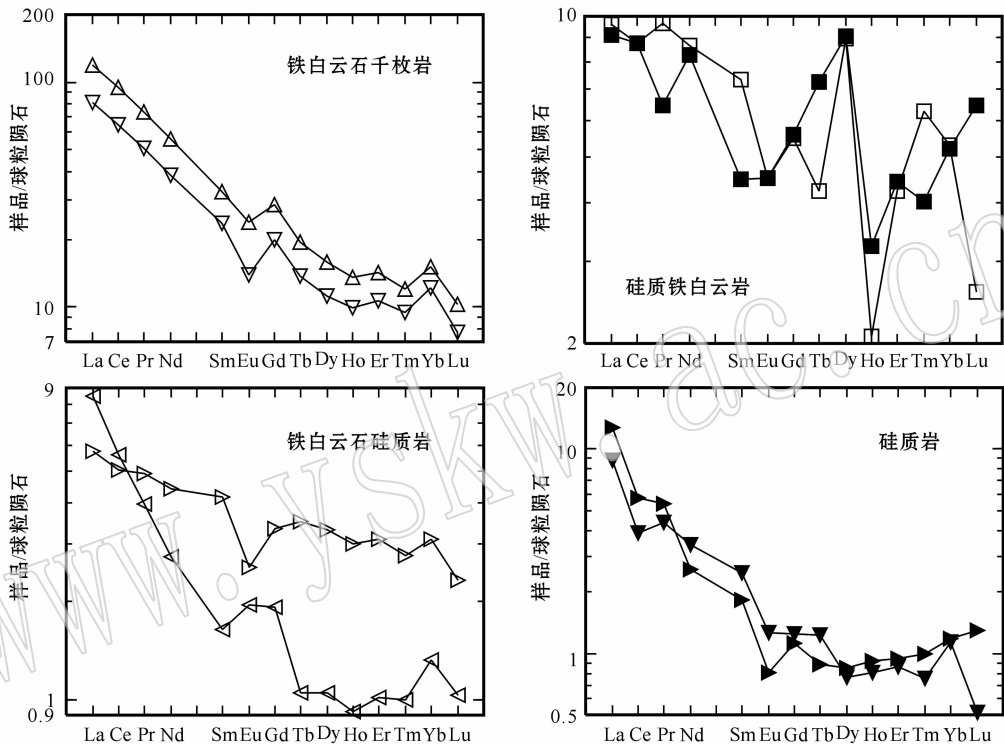


图3 风-太盆地围岩及硅质岩系 REE 配分模式

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of strata and siliceous rocks in Fengxian-Taibai basin

4 热水沉积成矿效应

4.1 热水沉积背景

在泥盆纪,秦岭造山带受扬子板块岩石圈地幔深部近北向挤压收缩及佛坪大陆热点垂向热驱动共同作用,风-太盆地属板内拉分盆地(方维萱等, 2000a)。正是这种扩张环境造成了本区海底热水系统的发育及金属硫化物的富集。首先,地热异常形成了海底热水循环系统,晚古生代本区的地热异常十分显著,为本区大规模成矿流体运移提供了必要的热源。地热异常的存在,使得对流循环系统在活动中不断被加热,形成热水循环系统。因此,地热异常是本区循环热水系统的主要热动力机制。其次,

扩张作用伴随的张性、张扭性断裂活动是控制热水对流循环的重要因素。风-太盆地内发育的 NE、NW 向同生断裂为热水成矿流体向陆壳浅部运移提供了构造通道。由于这些同沉积断裂切割较深,使对流循环深度加大。另外,主干断裂发育次一级断裂为重要的减压面,使循环热水更易沿通道上升,这些均为地下水的对流循环创造了有利的条件。现代热水系统研究表明,国外许多超大型热水沉积型矿床均以同沉积断层为热水涌出通道。所以,同沉积断裂不仅控制了次级沉积盆地的发育,也是成矿溶液的运移通道。最后,扩张环境下高的地温梯度、发育的断裂体系,使热水系统具有更强的水-岩反应,从而对金属矿物质具有更强的溶解、淋取能力,尤其当循环系统从岩层中获取大量卤素形成高盐度卤水后,

对金属的溶解迁移能力大为加强。因此在扩张构造环境下形成的地下热水系统均或强或弱的伴有金属矿化活动。

4.2 热水沉积成岩-成矿作用

在热水沉积成矿盆地中,单一成分热水体系因温度、压力改变而发生快速化学沉淀,不同成分、性态的热水混合后,强烈的酸-碱作用及 Eh-pH 的剧变等触发热水体系失稳,引起矿质大规模骤沉。区域硅质岩系的岩石学、元素地球化学分析表明本区泥盆纪富硅质热水活动十分强烈,是泥盆纪海底热水同生沉积的主成岩成矿期,形成了一系列的热水沉积组合,热水成矿流体中 SiO_2 可能是主要矿化剂,成矿物质卸载富集成矿后, SiO_2 直接从热水体系中结晶,形成含硅质岩的热水沉积岩相。此外,由于富 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 的碳酸盐型热水混入后,强烈酸碱作用和氧化还原条件骤变,发生热水混合同生沉积作用,形成了铁白云石硅质岩及硅质铁白云岩,同时伴随有 Cu、Pb 和 Zn 的沉淀富集。在凤-太盆地多金属矿集区热水沉积多金属建造中,金矿床和铅锌矿的含矿建造形成时间大致相当,金矿床的含矿建造位于铅锌矿含矿建造的上部层位,并且与海底热水沉积密切相关。泥盆纪热水沉积作用造成了 Pb、Zn 的堆积和 Au 的初步富集,而元素物理化学性质的差异造成了 Pb、Zn 与 Au 的分离(李强等,2007)。由于热水沉积过程中贱金属与金的富集程度相当,金还未达到工业品位,需要热水沉积后的构造运动改造和叠加等多次成矿作用才能形成工业矿体。

4.3 成岩成矿作用的氧化还原环境分析

方维萱等(2000b)利用热水沉积岩石 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 、S、有机碳等指标分析热水盆地的氧化-还原条件,得出了一些判别成岩环境的指数。本区硅质岩氧化物分析资料表明,硅质岩 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 变化于 4.0 ~ 13.8,平均 7.4,指示了硅质岩成岩为一种强还原环境;铁白云石硅质岩 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 变化于 1.78 ~ 5.61,平均 3.5,指示了铁白云石硅质岩的弱还原性成岩环境;而硅质铁白云岩 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 变化非常大,从 3.48 ~ 60.89,可能与硅质铁白云岩成岩方式有关。据方维萱(2000b)对柞水银洞子-大西沟金属矿集区热水沉积岩研究,认为铁白云石硅质岩是富 SiO_2 、 FeO-MgO 及海水中富 CaCO_3 三种流体混合形成,形成于强还原但偏氧化环境。理论上,即使两种热水在海底混合时,也不能达到完全均匀,由此造成

$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 较大差异。

5 结论

(1) 硅质岩系呈似层状、层纹条带状与碎屑岩、碳酸盐岩互层,具有微晶-细晶粒状结构,沉积特征明显。

(2) 硅质岩系 Fe、Mn、Ba、As 和 Sb 相对富集,Al、Ti、Mg、K 和 Na 相对贫乏, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 、 Fe/Ti 和 MnO/TiO_2 等数据表明硅质岩形成于大陆边缘浅海海底相对还原的环境,属热水沉积成因。

(3) 硅质岩系的稀土元素特征相似,具有总量低、 δCe 规律性变化,配分曲线具有右倾特点, δCe 变化规律进一步反映由硅质岩-铁白云石硅质岩-硅质铁白云岩成岩环境逐渐由还原向氧化转变的特征,这些特征进一步反映了硅质岩系的形成环境与成因类型。

(4) 泥盆纪凤-太盆地总体为拉张环境,受深部大陆热点和同沉积断裂联合控制,区域热水活动剧烈而频繁,海水通过下渗被加热,萃取成矿物质再在海底沉积成岩,形成了控制区域 Pb、Zn、Au 成矿的热水沉积硅质岩系。

References

- Adachi M, Yamamoto K and Suigiski R. 1986. Hydrothermal cherts and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: Their geological significance as indication of ocean ridge activity [J]. *Sedimentary Geology*, 47(1~2): 125~148.
- Bostrom K. 1983. Genesis of ferromanganese deposits - diagnostic criteria for recent and old deposits [A]. Rona P A. *Hydrothermal Processes at Seafloors Spreading Centers* [C]. New York: Plenum Press, 473~483.
- Bostrom K, Harold R and Qiva J. 1973. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Ti, Mn, Cu, Ni, and Co in Pacific pelagic sediment [J]. *Chemical Geology*, 11(1~2): 123~148.
- Fang Weixuan. 1999a. Characteristics of sedimentary facies of hydrothermal for Qiantongshan giant lead-zinc ore deposit, feng county, Shanxi province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1): 44~50 (in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan. 1999b. Discusses on model of fluid dynamics for hydrothermal water system and geochemical patterns of paleohydrothermal fluids in the Qinling orogen-the analysis and approach of sedimentary basin with hydrothermal sedimentation [J]. *Northwest Geoscience*, 20(2): 17~27 (in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan, Liu Fangjie, Hu Ruizhong, et al. 2000a. The characteris-

- tics and diagenetic-metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomites from Fengtai apart-pull basin, Qinling orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 700~710(in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan and Lu Jiying. 2000b. Genesis and characteristics of hydrothermal sedimentary facies dorsiderite-silver-polymetallic deposits in Yindongzi and Daxigou, shanxi, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(3): 431~438(in Chinese with English abstract).
- Henderson P. 1984. *Rare Earth Element Geochemistry*[C]. New York: Elsevier Science Publishers B V:195~211.
- Li Qiang, Xue Chunji, Liu Shuwen, *et al.* 2007. Research on the Paragenesis(Coexist) Relationship of Lead zinc and Gold Mineralization in the Bafangshan-Baguamiao Deposit, Fengxian County, Southern Qinling Mountains[J]. *Geological Review*, 53(1): 65~74(in Chinese with English abstract).
- Marchig V. 1982. Some geochemical indication for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments[J]. *Marine Geology*, 50(3): 241~256.
- Murray R W, Brink M R B, Gerlach D C, *et al.* 1990. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale[J]. *Geology*, 18(3): 268~271.
- Murray R W, Buchholtz T, Brink M R, *et al.* 1991. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan complex and Monterey group, California: Assessing REE source to fine grained marine sediments[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 1875~1895.
- Qi Sijing, Li Ying, Zeng Zhangren, *et al.* 1993. Lead-Zinc Metallogenic Belt of Devonian System in Qinling Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 187~216(in Chinese).
- Rona P A. 1983. Hydrothermal processes at seafloor spreading centers[J]. N. Y. Plenum Press, 473~489.
- Rona P A. 1988. Hydrothermal mineralization at oceanic ridges[J]. *The Canadian Mineralogist-Sea-floor Hydrothermal Mineralization*, 26(3): 431~465(in Chinese).
- Wang Jilei, He Bochi, Li Jianzhong, *et al.* 1996. Qinling-type Lead-zinc Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~36(in Chinese with English abstract).
- Wang Xiang, Tang Rongyang, Li Shi, *et al.* 1996. Qingling Orogeny and Metallogenesis[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 187~229(in Chinese).
- Wei Longming. 2003. Metallogenic environment and prediction for Baguamiao gold deposit type in Qinling region, China[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Xue Chunji. 1991. Sea floor hydrothermal sedimentary characteristics of a similar jasper rock of Yindongzi[J]. *Mineral Petrol*, 11(2): 125~136(in Chinese with English abstract).
- Xue Chunji. 1997. Hydrothermal Sediment of Devonian Period in Qinling[M]. Xi'an: Cartographic Publishing House, 72~99(in Chinese).
- Xue Chunji, Jiang Shaoyong and Li Yanhe. 1997. Mineral chemistry and boron isotopic composition of tourmaline from Shanyang-Zhushui Devonian metallogenic area in eastern Qinling[J]. *Geochimica*, 26(1): 36~44(in Chinese with English abstract).
- Yamamoto K. 1987. Geochemical characteristics and deposition environment of silicilith and associated rocks in the Franciscan and Shiman-to terranes[J]. *Sedimentary Geology*, 52: 65~108.
- Zhu Huaping, Guo Jian, Zhu Hongzhou, *et al.* 1998. The carbon and oxygen isotopes geochemistry of sedimentary formation of the FengTai basin, Qinling[J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 7(6): 321~325(in Chinese with English abstract).
- Zhu Huaping and Zhang Dequan. 2004. Research on geology & geochemistry of Silurian clastic rock-bearing lead-zinc deposit in southern Qinling[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 19(2): 76~82(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 方维萱. 1999a. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. *沉积学报*, 17(1):44~50.
- 方维萱. 1999b. 秦岭造山带古热水场地球化学类型及流体动力学模型探讨[J]. *西北地质科学*, 20(2):17~27.
- 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 等. 2000a. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质白云岩-硅质岩特征及成岩成矿方式[J]. *岩石学报*, 16(4):700~710.
- 方维萱, 卢纪英. 2000b. 陕西银洞子-大西沟菱铁矿多金属矿床热水沉积相特征及成因[J]. *沉积学报*, 18(3):431~438.
- 李强, 薛春纪, 刘淑文, 等. 2007. 南秦岭凤县八方山-八卦庙 Pb/Zn 与 Au 矿化的共生/共存关系研究[J]. *地质论评*, 53(1):65~74.
- 祁思敬, 李英, 曾章仁, 等. 1993. 秦岭热水沉积铅锌矿床[M]. 北京:地质出版社, 15~64.
- 王集磊, 何伯焯, 李建中, 等. 1996. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京:地质出版社, 1~36.
- 王相, 唐荣杨, 李实, 等. 1996. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京:冶金工业出版社, 187~229.
- 韦龙明. 2003. 秦岭凤太地区八卦庙式金矿成矿地质条件及其成矿预测[D]. 成都:成都理工大学.
- 薛春纪. 1991. 银洞子似碧玉岩的海底热液沉积特征研究[J]. *矿物岩石*, 11(2):125~136.
- 薛春纪. 1997. 秦岭泥盆纪热水沉积[M]. 西安:西安地图出版社, 72~99.
- 薛春纪, 蒋少涌, 李延河. 1997. 东秦岭泥盆纪山阳-柞水成矿区电气石矿物化学及硼同位素组成[J]. *地球化学*, 26(1):36~44.
- 朱华平, 郭健, 朱宏洲, 等. 1998. 秦岭凤太盆地沉积建造的碳氧同位素特征[J]. *有色金属矿产与勘查*, (6):321~325.
- 朱华平, 张德全. 2004. 陕西南秦岭志留系中铅锌矿床地质地球化学特征研究[J]. *地质找矿论丛*, 19(2):76~82.