

文章编号: 1000-0550(2007) 04-0564-10

东秦岭二郎坪群硅质岩热水沉积地球化学特征及其地质意义

冯胜斌^{1,2} 周洪瑞² 燕长海³ 彭翼³ 袁效奇¹ 贺静¹

(1 中国石油长庆油田分公司 勘探开发研究院 西安 710021)

2 中国地质大学 地球科学与资源学院 北京 100083 3 河南省地质调查院 郑州 450007)

摘要 二郎坪群硅质岩成因研究对二郎坪群的构造背景和铜多金属矿床成因的确定具有重要意义。通过对二郎坪群中三种硅质岩的地质特征和岩石地球化学分析,认为二郎坪群硅质岩是典型的热液沉积硅质岩。常量元素地球化学特征值 ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$) 指示该硅质岩的沉积环境存在东西差异,南阳盆地以东弧后盆地的规模较大 ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)} = 0.30 \sim 0.45$), 沉积环境类似远洋盆地,硅质岩的热液成分比例大,受陆缘物质影响小;而南阳盆地以西弧后盆地的规模较小 ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)} = 0.59$), 沉积环境为近大陆的边缘海,硅质岩 Al 含量相对较高,受到陆缘物质影响相对大。地质特征和稀土元素特征 (负 Eu 异常、弱负 Ce 异常) 揭示了二郎坪群硅质岩是弧后盆地型低温热液流体和海水混合形成,这为二郎坪群形成于弧后盆地构造环境的认识提供了新的重要证据。热水沉积硅质岩与铜多金属矿床的共生关系证明研究区铜金属矿床的成因是海底热液喷流沉积作用。

关键词 东秦岭 二郎坪群 硅质岩 热水沉积

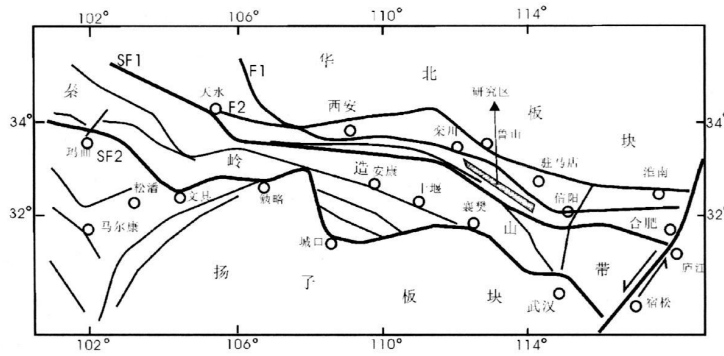
第一作者简介 冯胜斌 男 硕士 1973 年出生 沉积地质与矿产研究工作 E-mail fsb528@tom.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 引言

自从在 20 世纪 60 年代中期,相继在红海洋中脊扩张中心发现了多金属热卤水和金属软泥,及随后在东太平洋海隆发现了热液多金属沉积物后^[1~3],海底热液活动得到人们的关注。Edmond Thompson 等对热液通量的估算^[4~5],对长期以来关于海洋沉积物的来源主要是大陆风化物的认识,有了进一步发展,认识到热水是海水中元素的不可忽视的来源。由海底热液活动循环产生的热水溶液,携带大量的物质,喷出海底可形成独特的热液多金属硫化物,并形成与之紧密伴生的热水沉积岩。热水沉积岩已成为寻找热水沉积型和热水沉积—改造型矿床的重要找矿标志^[6]。目前,对热水沉积岩的分类方案以矿物成分为原则分类最为系统、全面和实用。吴志亮等以矿物成分为基本原则,将热水沉积岩分为硅质岩类,富长石岩类,碳酸盐岩类,矽卡岩类,硫酸盐岩类,磁(赤)铁岩类,高炭质岩类,电气石岩类及泉华等九大类^[7]。二郎坪群中现已发现了硅质岩类,硫酸盐岩类(重晶石岩)和矽卡岩类等三大类。

二郎坪群位于秦岭造山带的东段,即东秦岭的北部地区。二郎坪群是在早古生代形成的,当时是扬子板块向北部的华北板块之下俯冲,在华北板块南缘形成拉张、裂解的动力机制,形成东西向展布的弧后盆地。二郎坪群是秦岭造山带的重要的构造—地层单元(图 1)^[8],前人确定东秦岭二郎坪群弧后盆地构造环境的主要依据是对二郎坪群火山岩的岩石地球化学特征和构造背景的研究。然而,由于火山岩岩石化学特征的多解性,引起了对二郎坪群形成环境有弧后盆地、岛弧和陆缘断陷带等不同构造环境的认识和分歧^[9~14]。关于这套地层中含有重要的铜多金属矿产,前人虽提出了区内的铜多金属矿床与海底火山作用有关的认识,但认为后期断裂构造是控矿的主要因素。对矿床成因认识严重影响了铜多金属矿床成矿规律研究。而研究区内的硅质岩类,一些学者曾做过地球化学方面的分析,但是迄今尚没有进行过系统地分析和成因方面的研究。本文系统地采集了硅质岩样品(表 1),由国土资源部宜昌地质矿产研究所测试,并收集前人的研究数据,系统地分析硅质岩类地球化学特征,首次对其成因进行探讨,从而对上述问



F1 鲁山—淮南断裂; F2 栾川断裂; SF1 商丹复合断裂带; SF2 勉略—襄樊断裂带

图 1 东秦岭大地构造简图(据张国伟等^[8]略有修改)

Fig 1 Geotectonic framework map of the east Qinling orogenic belt

表 1 二郎坪群硅质岩样品采集位置及特征

Table 1 The location and characteristics of silica lite samples of Erlangping Group

样品号	采样位置	岩石	地质特征
DH-2	南阳盆地东刘山岩组中刘山岩铜锌矿	纹层状硅质岩	呈纹层状, 层状产出, 与硫化物矿互层, 灰色
DH-8	南阳盆地东刘山岩组	层状硅质岩	夹在石英角斑岩中, 层状产出, 黑色
DP-2	南阳盆地东部	层状硅质岩	多被矿化为矿体
SDL-1	南阳盆地西火神庙组水洞岭铅锌矿	厚层硅质岩	块状构造, 灰白色, 含黄铁矿、磁铁矿
SDL-3	南阳盆地西火神庙组水洞岭铅锌矿	块状硅质岩	夹在石英角斑岩中产出, 块状构造, 黑色
SZP-003	南阳盆地西火神庙组上庄坪铅锌矿	层状硅质岩	与重晶石岩互层产出, 灰色, 多被闪锌矿、方铅矿等矿化
SZP-004	南阳盆地西火神庙组上庄坪铅锌矿	层状硅质岩	与重晶石岩互层产出, 灰色

题的解决提供新的重要的资料。

2 硅质岩地质特征

二郎坪群硅质岩主要呈层状与地层或矿体整合产出, 根据其产状可以划分为 3 种类型: 第一种为薄层状硅质岩, 分布在块状熔岩和枕状熔岩的顶部; 第二种以硅质板岩和炭硅质板岩夹层的形式发育在火

山碎屑岩中; 第三种硅质岩与矿体联系非常紧密, 常呈条带状或纹层状出现, 有些硅质岩被矿化成为矿体, 有些地段可见到重晶石沉积岩与硅质岩互层出现(图 2)。在前两种硅质岩中发现时代为早寒武世—中奥陶世的多种海绵古针、牙形石和放射虫化石^[15~18], 说明硅质岩是沉积成因。

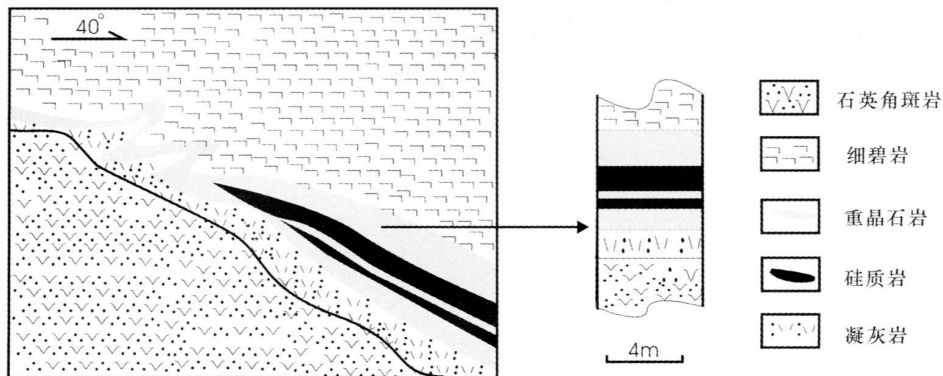


图 2 嵩县上庄坪铅锌矿床中与重晶石岩呈互层状的硅质岩剖面图

Fig 2 Section for interbedded silicalite and baritic rock in Shangzhuangping Pb-Zn deposits of Songxian Country

二郎坪群硅质岩主要由它形粒状石英组成, 还见少量白云母、方解石、金属矿物和重晶石等。粒状石英粒度直径在 0.05~0.15 mm 之间, 在正交偏光下局部显示波状消光。岩石呈镶嵌粒状结晶结构, 沉积构造有层状构造、纹层状构造和块状构造等三种形式。厚层块状构造反映了硅质岩是一种密度流型热水迅速堆积的产物^[19], 纹层状构造可能反映了热水是脉冲式喷流型。层状和纹层状硅质岩颜色为灰色—黑色; 厚层状硅质岩成灰白色; 块状硅质岩为黑色。

3 硅质岩地球化学特征

热液活动区有不同的构造环境、热液沉积物出露基底和扩张速率等地质背景^[20]。故不同热液活动区的喷出流体和热液沉积物的地球化学特征也有相应的变化。前人详细研究了典型地区热水沉积岩, 如红海、大西洋 TAG 和太平洋 SER (Southerm Explorer Ridge) 等热液区热液沉积物的特征, 故本文研究过程中也将二郎坪群硅质岩的特征与其进行对比分析。

3.1 热水硅质岩常量元素地球化学证据

由表 2 可知, 研究区内硅质岩样品 SiO_2 含量变化范围为 61.35~96.01, 平均值为 82.47%, 其低于纯硅质岩 SiO_2 含量 ($SiO_2 = 91\% \sim 99.8\%$)^[21]; SiO_2 与 Al_2O_3 呈明显的负相关, 并且硅质岩的 Si/Al ($Si/Al = 2.77 \sim 51.53$) 低于纯硅岩 ($Si/Al = 80 \sim 1400$)^[21], 因此二郎坪群硅质岩属于不纯硅质岩。

硅质岩的岩石化学特征值比值研究是硅质岩成

因及沉积相指示意义的研究手段^[22]。由表 3 可以看出, 不同成因类型的硅质岩有其特征的常量元素比值。研究区二郎坪群的硅质岩特征值比值与火山沉积型和海底热液型非常相似, 而与正常生物化学沉积型相差甚远。在常量元素 $w(Fe_2O_3) / w(FeO) - w(SiO_2) / w(Al_2O_3)$ 和 $w(SiO_2) / w(K_2O + Na_2O) - w(MnO) / w(TiO_2)$ 判别图解中^[23], 研究区内样品多落在热水成因区 (图 3)。在正常沉积碎屑岩中长石及粘土矿物随着石英的增加而减少, 因而 $w(SiO_2)$ 与 $w(Al_2O_3)$ 常呈负相关。热水沉积岩也通常相对富 SiO_2 而贫 Al_2O_3 。因此, $w(SiO_2) - w(Al_2O_3)$ 二元图解常作为判别热水成因的图解^[24], 研究区硅质岩除 SDL-3 和 SZP-003 落在水成区, 其余均落在热水区 (图 4(a))。而在 $w(Fe_2O_3) / w(TiO_2) - w(MnO) / w(TiO_2)$ 判别图解中^[25] (图 4(b)), 硅质岩投点均落在热水区, 这也说明二郎坪群硅质岩具有热水成因性质。另外, 据 Adachi 等研究, 沉积物中 Fe 和 Mn 的富集主要与热水的参与有关, 而 Al 的富集主要与陆源物质的介入有关。并认为硅质岩的 $N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$ 比值由纯热水沉积的 0.01 到纯远海生物沉积的 0.60 之间变化^[25]。研究区内南阳盆地以东的硅质岩 $N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$ 值在 0.30~0.45 之间变化, 而南阳盆地以西的硅质岩 $N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$ 均值为 0.59 说明研究区的硅质岩 Al 含量相对较高, 沉积受到陆源物质的影响, 并且南阳盆地以西的沉积物受到陆缘物源的影响大, 而东部的沉积物中相对热液成分的含量高。

表 2 二郎坪群硅质岩岩石化学成分 (w_B / %)

Table 2 Petrochemical composition of silicalites of Erhangping Group (w_B / %)

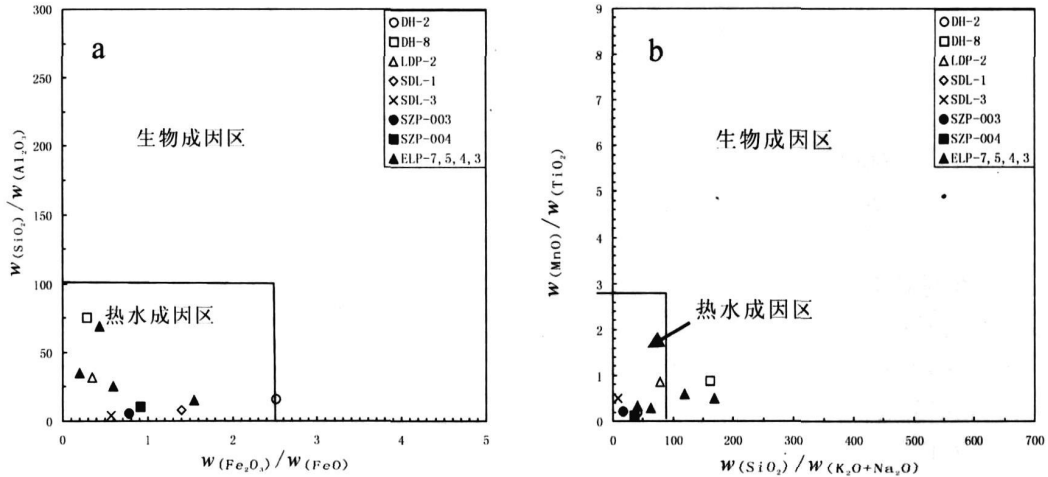
序号	样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	灼失量	总和
1	DH-2	77.82	0.29	4.94	3.95	1.57	0.05	0.41	2.01	0.68	1.19	0.16	0.60	2.84	100.38
2	DH-8	95.13	0.05	1.26	0.55	1.96	0.04	0.29	0.14	0.05	0.54	0.02	0.35	0.08	100.26
3	DP-2	80.60	0.09	2.54	0.67	1.91	0.08	0.47	6.82	0.06	0.96	0.04	0.62	5.06	99.46
4	SDH1	80.54	0.11	9.70	1.03	0.74	0.02	0.22	0.48	3.49	1.38	0.03	0.36	0.66	99.49
5	SDH3	61.35	0.78	16.52	2.40	4.20	0.38	2.18	3.12	5.82	1.74	0.20	0.62	0.42	99.22
6	SZP-003	68.30	0.34	12.82	2.52	3.25	0.08	3.09	1.52	2.49	1.52	0.08	1.56	2.08	100.22
7	SZP-004	79.32	0.33	7.86	2.00	2.18	0.04	1.83	0.63	1.03	1.19	0.12	1.42	1.34	99.45
8	ELP-7	96.01	0.04	1.39	0.13	0.30	0.02	0.31	0.78	0.22	0.35	0.01		0.83	100.42
9	ELP-5	90.99	0.14	3.58	0.59	1.00	0.04	0.97	0.35	0.75	0.68	0.03		1.09	100.32
10	ELP-4	85.72	0.18	5.62	1.24	0.80	0.06	1.31	0.44	1.12	0.98	0.05		1.62	99.53
11	ELP-3	91.34	0.10	2.62	0.27	1.4	0.06	0.78	0.88	0.38	0.39	0.03		1.11	99.52

注: 资料来源: 1~7 本文 (由中国国土资源部宜昌地质矿产研究所测试, 2005); 8~11 据张成立等^[16]。

表 3 二郎坪群硅质岩及不同成因硅质岩常量元素特征值比值

Table 3 The characteristics ratios of cherts of Erlangping Group and others

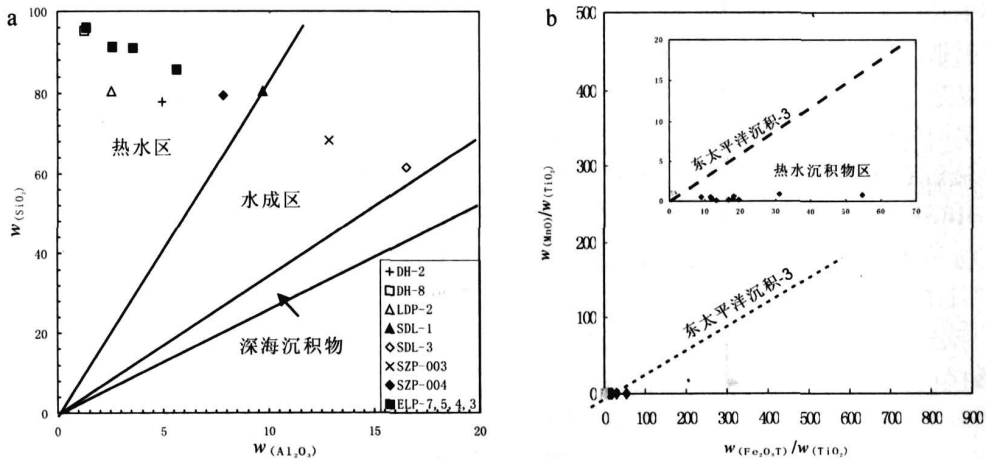
序号	成因类型	样品数	$w(Fe_2O_3)$	$w(sO_2)$	$w(SiO_2)$	$w(SiO_2)$	$w(MnO)$	资料来源
			$w(FeO)$	$w(Al_2O_3)$	$w(K_2O + Na_2O)$	$w(MgO)$	$w(TiO_2)$	
1	正常生物化学沉积	8	4.40	107.00	235.00	346.00		据张复新等 (1989), 转引自杨建民等 ^[22]
2	火山沉积	4	0.46	13.70	36.00	69.50		
3	海底热泉型	8	0.51	31.90	183.00	97.20		据唐朝晖等 (1990), 转引自杨建民等 ^[22]
4	丘查海底热液型	5	15.00	108.00	20.90			
5	生物化学沉积		92.00	259.00	338.00	2.30		杨建民等 ^[22] 本文
6	火山沉积		14.00	36.00	70.00	0.24		
7	热水成因	11	0.87	26.82	68.31	157.34	0.43	



(a) $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$ — $w(SiO_2)/w(Al_2O_3)$ 图解; (b) $w(SiO_2)/w(K_2O + Na_2O)$ — $w(MnO)/w(TiO_2)$ 图解

图 3 东秦岭二郎坪群硅质岩判别图解(底图据 Murray^[23])

Fig. 3 Discriminate diagram of cherts of Erlangping Group in east Qinling



(a) $w(SiO_2)$ — $w(Al_2O_3)$ 图解(底图据 Spry^[24]); (b) $w(Fe_2O_3)/w(TiO_2)$ — $w(MnO)/w(TiO_2)$ 图解(底图据 Adachi 等^[25])

图 4 东秦岭二郎坪群硅质岩判别图解

Fig. 4 Discriminate diagram for cherts of Erlangping Group in east Qinling

3.2 硅质岩的稀土元素化学特征

由于稀土元素在化学性质上的相似性和系统差

异, 并经常作为一个整体出现在矿物和岩石中, 故常被用来作为地球化学示踪剂。且硅质岩中的稀土元

素相对受成岩作用改造的影响较小^[26]。海底热液沉积物是热水系统水—岩作用形成的热流体在海底与海水混合后的沉淀产物,其本身应记录着热液—海水之间相互作用的重要信息^[27]。所以,研究热水沉积硅质岩稀土元素地球化学特征是分析古代海底热水系统地球化学过程的重要途径之一。

据前人研究报道,海底高温热流体普遍具有轻稀土富集(La—Gd)、重稀土亏损、显著的 Eu 正异常特征(以此代表纯热液端元组分组成)^[28~31]。海水的稀土元素特征为 LREE 亏损、HREE 富集和显著的 Ce 负异常为标志。而海底热液沉积物作为热液流体和海水混合的产物,会兼有二者的一些特征。通过对红海、大西洋 TAG 地区、太平洋 SER 地区、Aeolian arc 地区、冲绳海槽、劳海盆地(Lau Basin)、和马里亚拉海槽(Mariana Trough)等热液活动区的热液沉积物研究^[31~35],表明热液沉积物稀土元素配分模式反映了热液组分和海水的混合特征,但不同构造背景热液区,热液沉积物有其独特的特征。

Bau 等、Klinkhammer 等和 Hass 等对海底热液稀土元素配分模式的形成机理从不同方面进行了研究,但是迄今为止,对控制海底热液稀土配分模式,特别是 Eu 异常的确切原因尚不十分清楚,除可能与流体作用的岩石有关外,还可能与流体—岩石作用过程中环境的 Eh、Ph 络合介质种类、络合性质、温度、压力条件等有关。但 Eu 正异常仅仅出现于温度 200℃ 以上的热液流体中^[27],这说明温度是形成 Eu 异常的一个至关重要的因素。虽然影响海底热液稀土元素组成的因素非常复杂,但是从这些典型的热液区的热液沉积物的研究实例分析,代表高温(200℃)热液流体的洋中脊型热液沉积物一般表现为具有低 Σ REE、LREE 较富集、HREE 亏损和 Eu 的正异常特征,通常由于热液沉积物形成时热液流体和海水混合比例的不同,可能会产生右陡倾斜型、一般右倾斜型和微右倾斜型的稀土配分模式(球粒陨石标准化)^[31];而弧后盆地型热液区的热液沉积物一般表现为较高 Σ REE 富集、LREE、HREE 亏损、Ce 负异常和 Eu 负异常特征。故热液沉积物稀土元素特征能较好地反映热液区的构造背景。

研究区的硅质岩具有较高 Σ REE、LREE 弱富

集、HREE 弱亏损、弱 Ce 负异常和 Eu 的负异常等明显特征(表 4 图 5a 图 5b)。说明它与海水及典型的洋中脊型热液区的热液沉积物或高温热液流体的稀土元素特征有既有相似性又存在区别(图 5c 图 5d);而与弧后盆地型、岛弧型和被动大陆边缘盆地型等热液区的沉积物稀土元素具有非常相似的特征(图 5e 图 5f)。这恰好说明了研究区硅质岩和图 5e 及图 5f 所示的构造环境的热液沉积物是低温热液流体和少量的海水混合形成的,因而具有不明显的 Ce 负异常和 Eu 的负异常等典型特征。其成因应是末端热液流体与海水混合形成的,并且可能海水的含量相对较低。这从硅质岩表现出 Ce 的弱负异常特征得到解释。因为仅靠热液的传导冷却,不可能使沉积物显示 Ce 的负异常,而只有当沉积物沉淀前通过海水与热液对流混合才能同时出现 Ce 的负异常和 Eu 的异常。而与研究区形成明显对比的是高温热液流体(图 5c)具有明显的 Eu 正异常和不明显的 Ce 异常特征;在大西洋 TAG 热液区,高温热液流体和一定量的海水参与形成了兼有二者特征的 Eu 正异常和明显的 Ce 负异常现象(图 5d)。研究区硅质岩的 Eu 负异常特征说明了硅质岩是弧后盆地型低温热液流体形成的,这种解释与在研究区野外观察到的硅质岩的产状形态(矿体边缘相)相一致。

3.3 硅质岩微量元素地球化学特征

涂光炽等 1987 年认为,As、Sb、Ba、Ag 和 Hg 等这些标型元素的较高含量可以作为判别热水沉积成因的标志^[38]。从表 5 可以看出,研究区硅质岩微量元素除 Co、Ni 外,As、Sb、Ba、Zn、Pb、Cu、Ag、Hg 等元素的含量均高出相应元素的地壳克拉克值 1~3 个数量级,此特征说明研究区硅质岩具有热水沉积成因的特征。另外,Ba 的富集是现代洋底热液沉积物的重要特征之一^[39],并且在大量的热水成因的块状硫化物矿床中已发现含钡(BaSO₄)矿物构成的地质体出现在硫化物矿层的边部或中上部,构成矿床的一部分。研究区已在上庄坪、刘山岩、三圣庵等矿床(点)中发现了重晶石岩。而研究区的硅质岩中钡的含量高是最为显著的微量元素特征,平均值为 1309×10^{-6} 。这也从一个方面说明了硅质岩具有热液成因的特征。

表 4 典型热液区热液沉积物及研究区硅质岩稀土元素数据 ($w_B / 10^{-6}$)

Table 4 Rare-earth elements data for cherts of Erlangping Group and typical hydrothermal deposits ($w_B / 10^{-6}$)

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣEu	ΣCe	资料来源
36M ad	27.400	48.600	5.40	19.900	4.070	0.630	3.180	0.520	2.650	0.630	1.6100	0.270	1.7800	0.2900	0.51631	0.92096	
36F linyeins	28.300	50.900	5.56	20.500	3.920	0.600	3.630	0.490	2.920	0.720	1.7600	0.260	1.7800	0.2900	0.47798	0.93483	SavelleC 等 (Aeo- lianislandae) [34]
50S-rich	11.600	17.800	2.08	8.700	1.950	0.500	0.910	0.090	0.440	0.110	0.3800	0.060	0.5300	0.0800	1.00396	0.82114	
¹ 2179-4-1-oxl	0.557	1.620		0.926	0.219	0.380	0.194		0.150		0.0718		0.0538	0.0652	5.51628	1.16179	Muller 等 (大西洋
¹ 2183-7-3-ox	2.490	2.000		2.530	0.506	0.761	0.600		0.594		0.4410		0.4130	0.0632	4.21419	0.44419	中脊 TAG) [31]
² 2187-1-ox	2.540	2.450		2.290	0.422	0.760	0.436		0.438		0.3500		0.3310	0.0565	47.76882	0.52855	
² 2187-1-5-ox	0.898	0.663		0.612	0.119	0.2010	0.142		0.121		0.0878		0.0814		47.18921	0.43502	
³ 2186-1-1-ox	2.960	3.090		3.480	0.710	1.680	0.665		0.596		0.4120		0.3720	0.0599	7.35489	0.54222	
³ 2183-9-ox	1.740	1.660		1.700	0.319	0.789	0.407		0.349		0.2730		0.2610	0.0458	6.69213	0.51743	
⁴ Black smoke fluid	0.00568	0.01320		0.00868	0.00487	0.00542	0.00170		0.00123		4.93×10^{-5}		3.69×10^{-5}	4.41×10^{-6}	9.11925	0.98064	Mann 等 (大西洋洋中
⁴ Whitesmoke fluid	0.003400	0.00479		0.002140	3.58×10^{-5}	0.001320	2.59×10^{-5}		1.79×10^{-5}		7.99×10^{-6}		6.70×10^{-6}	8.08×10^{-7}	126.94420	0.76979	脊) [36]
Smawder	3.54×10^{-6}	7.62×10^{-7}		3.10×10^{-6}	6.2×10^{-7}	1.61×10^{-7}	9.83×10^{-7}		1.03×10^{-6}		9.15×10^{-7}		9.38×10^{-7}	1.54×10^{-7}	0.62832	0.13980	
DH-2	6.930	12.200	1.72	6.930	1.890	0.550	1.650	0.280	1.990	0.300	1.0000	0.120	1.1000	0.2900	0.93049	0.84208	
DH-8	4.910	9.300	0.97	4.320	0.370	0.180	0.760	0.110	0.780	0.110	0.4800	0.068	0.4000	0.0640	1.01476	0.98268	
LDP-2	4.810	7.4500	0.83	4.120	1.610	0.280	1.160	0.170	1.130	0.270	0.6900	0.080	0.7700	0.1000	0.59719	0.83860	本文(研究区)
SDL-1	46.700	74.800	8.26	33.800	6.840	1.530	6.560	1.120	7.850	1.570	4.9900	0.750	5.4900	0.7000	0.68850	0.86073	
SDL-3	27.200	50.000	5.62	25.800	6.140	1.650	6.500	0.990	6.730	1.320	4.1700	0.590	4.1700	0.5700	0.79286	0.93947	
SZP-003	28.000	52.400	5.09	20.400	4.10	1.080	4.210	0.660	4.940	0.960	3.1600	0.500	3.0300	0.4200	0.78761	0.99720	
SZP-004	26.200	52.200	4.19	20.200	4.750	0.890	3.690	0.650	3.870	0.770	2.2800	0.340	2.3200	0.2800	0.62629	1.10303	
ELP-5	15.000	30.000	3.30	12.000	2.400	0.510	2.300	0.330	2.000	0.410	1.1000	0.190	1.3000	0.2000	0.65428	1.00011	张成立等(研究区 西) [16]
ELP-4	13.000	25.000	3.00	11.000	2.300	0.580	2.200	0.360	2.300	0.510	1.4000	0.260	1.6000	0.2600	0.77705	0.94525	
LY5	18.000	31.000	3.29	15.700	2.880	0.710	3.340	0.510	3.140	0.640	1.7600	0.230	1.4900	0.1900	0.69798	0.91613	韦昌山等, 2003(研 究区东)
LY7	18.100	39.000	3.19	14.700	2.780	0.510	2.560	0.40	2.320	0.480	1.3300	0.210	1.4400	0.1600	0.57419	1.15916	
LY12	17.300	34.000	3.44	14.800	2.680	0.750	3.380	0.510	3.480	0.680	2.0300	0.300	1.7500	0.2400	0.76145	1.01744	
D4	22.530	38.560	5.43	20.300	4.830	1.210	3.470	0.560	3.410	0.680	1.990	0.280	1.9900	0.3200	0.86110	0.82782	吴志亮等。(活动 大陆边缘盆 地) [7]
H-48	4.5200	6.200	0.84	3.190	0.860	0.340	1.500	0.361	2.890	0.685	2.2490	0.366	2.5330	0.4430	0.90742	0.72585	大陆边缘盆 地) [7]
H 48-38	22.610	44.840	5.44	18.230	3.770	0.950	3.240	0.502	3.180	0.645	1.9510	0.304	1.9940	0.3200	0.81071	0.95985	
19硅质岩	8.290	13.270	2.38	8.100	1.630	0.050	1.250	0.230	1.150	0.260	0.6300	0.130	0.6700	0.1300	0.10301	0.72238	薛春纪等。(被动 大陆边缘盆 地) [35]
1重晶石岩	5.490	15.580	1.14	4.270	0.840	0.310	0.600	0.140	0.570	0.160	0.1300	0.070	0.3500	0.0400	1.27107	1.44790	
7钠长石岩	16.420	42.200	5.66	22.540	4.570	1.260	3.650	0.750	3.370	0.700	1.5000	0.290	1.6700	0.2800	0.91218	1.07020	

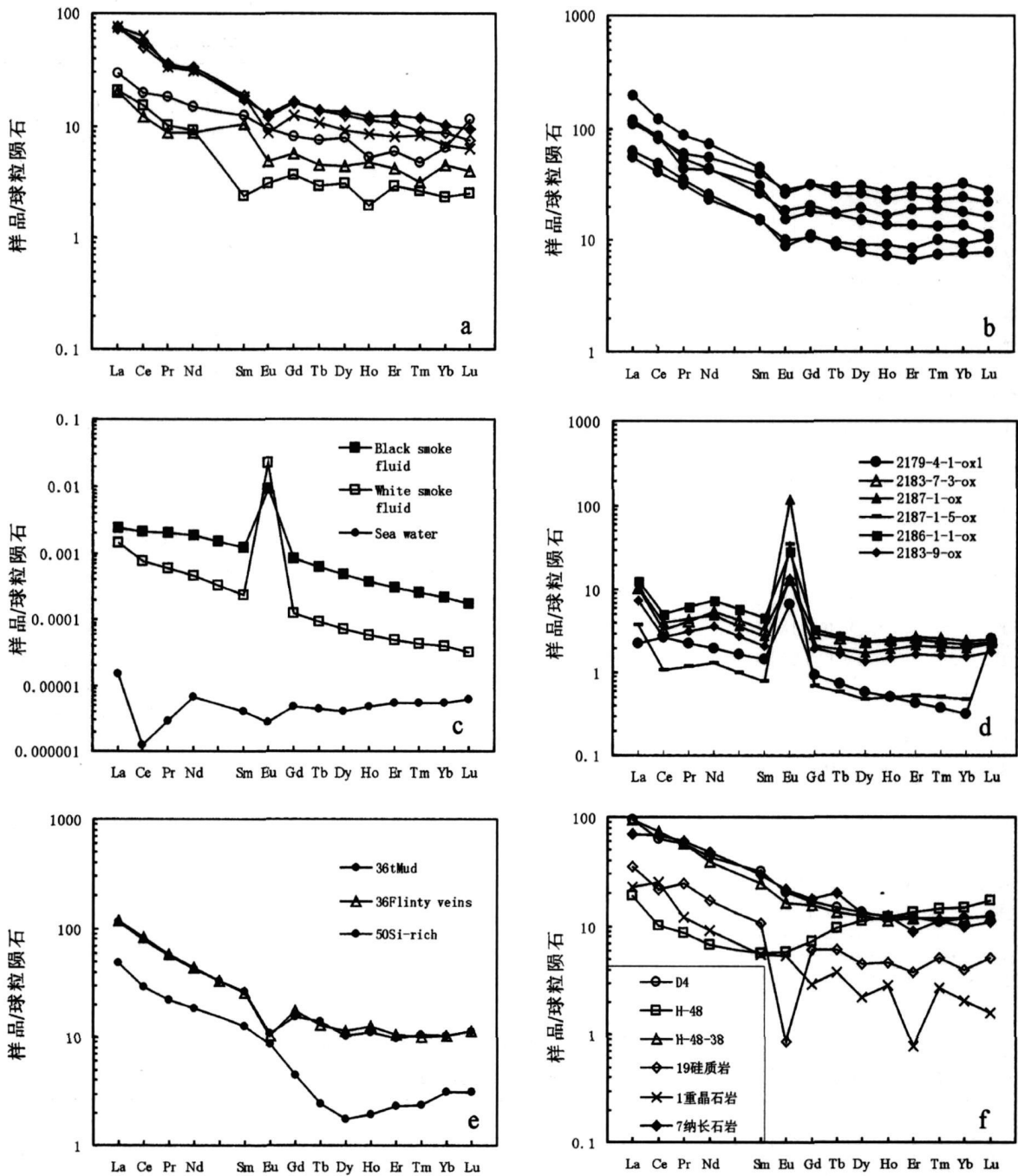
注: 1 黑烟囱样品; 2 白烟囱样品; 3 喷流口样品; 4. 代表高温流体样品

表 5 东秦岭二郎坪群硅质岩微量元素组成 ($w_B / 10^{-6}$)

Table 5 Trace elements composition of silicalite of Erlangping Group in east Qinling ($w_B / 10^{-6}$)

样号	As	Sb	Hg	Ba	Zn	Pb	Cu	Co	Ni	Ag	Sr	V	Nb	Rb	Th
SZP-003	3.54	0.49	0.001	661	405.0	166	1660.0	40.3	7.80	4.38	159.0	61.90	4.63	39.2	7.04
SZP-004	4.72	0.35	0.001	3000	169.0	61	159.0	33.6	8.10	0.75	73.9	73.40	3.72	36.7	7.62
SDL-1	7.49	1.06	0.060	2440	669.0	730	174.0	19.5	0.05	0.86	352.0	1.41	7.06	18.1	3.62
SDL-3	3.14	0.26	0.007	2300	271.0	25	64.6	27.9	0.05	0.60	196.0	93.40	5.08	27.6	2.73
DH-2	7.79	3.52	0.063	456	2090.0	2290	9910.0	30.9	5.90	16.00	309.0	160.00	1.61	16.3	0.10
DH-8	4.72	0.35	0.002	158	34.4	1	52.2	29.6	2.45	0.28	1.1	11.20	2.21	11.6	0.67
LDP-2	23.10	248.00	1.070	150	3020.0	420	506.0	2.0	9.90	172.00	66.1	13.80	2.98	18.2	0.10
ELP5				178	24.0		46.0	124.0	8.9		26.0	31.00	2.90	22.0	5.10
ELP4				211	60.0		22.0	62.0	15.0		48.0	40.00	2.50	26.0	5.10
地壳丰度	1.90	0.15	0.080	610	86.0	15	38.0	32.0	57	0.05					

注: ELP5、ELP4据张成立等 [16]; 地壳丰度据黎彤, 1988 其它本文 (由国土资源部宜昌地质矿产研究所测试, 2005)



a. 研究区南阳盆地东硅质岩; b 研究区南阳盆地西硅质岩; c 大西洋中脊高温热液流体及 4000m 深海海水 (数据据 Mira 等^[34]); d 大西洋中脊 TAG 热液沉积物 (数据据 Mills RA 等^[29]); e Aeolian island arc 区热液沉积物 (数据据 Savelli C 等^[34]); f 活动大陆边缘盆地 (数据据吴志亮等^[7]), 被动大陆边缘盆地 (数据据薛春纪等^[35]) 热液沉积物

图 5 二郎坪群硅质岩及典型热液区热液沉积物 (热液流体) 稀土球粒陨石标准化图解 (标准化数据据 Haskin^[37])

Fig 5 REE distribution pattern for normalized cherts of Erlangping Group and typical hydrothermal deposits (hydrothermal fluids) by chondrite

已有资料表明, 一般海相热水沉积物的微量元素比值 Ti/V 大于 20 Ni/Co 小于 3.6^[40], 本区硅质岩也具有相似的特征。孙少华等 (1993) 研究表明在海相

环境中, 深海与滞流浅海相环境的 Sr/Ba 比值小 1, 且深海相的单个元素 Sr/Ba 含量相对滞流浅海更富集^[41]。研究区硅质岩中 Sr/Ba=0.007~0.678 均小

于 1, 说明研究区中的硅质岩形成于深海环境。

4 热水沉积硅质岩地质意义

大量调查说明, 热液活动区主要分布在地质构造不稳定的区域, 通常是洋中脊, 弧后盆地和板内热点等地^[42]。通过上述对不同构造背景典型热液区的热液沉积物稀土元素特征对比分析, 不同构造背景热液区热液沉积物稀土元素特征显示明显的差异。洋中脊型热液沉积物一般表现为具有低 Σ REE、较富集 LREE、弱亏损 HREE 和 Eu 的正异常特征 (球粒陨石标准化); 而弧后盆地型 (岛弧型、被动陆缘盆地型) 热液区的热液沉积物一般表现为较高 Σ REE、富集 LREE、亏损 HREE、Ce 负异常和 Eu 负 (低温流体) 异常特征。根据稀土元素特征值对比可知, 研究区的热水沉积硅质岩稀土元素具有弧后盆地型热液流体特征。据硅质岩常量元素 ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$) 特征分析, 南阳盆地东部弧后盆地规模较大 ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)} = 0.30 \sim 0.45$), 硅质岩的热液成分含量高, 受陆缘物质影响小; 而南阳盆地西部弧后盆地规模较小 ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)} = 0.59$), 热水成因硅质岩 Al 含量相对较高, 说明受到陆缘物质影响相对大。这些特征印证了早古生代二郎坪群产出于弧后盆地构造背景的认识。

许多单位和学者从不同角度对二郎坪群中的铜等多金属矿床进行了大量的研究, 一些研究者认为其成因与火山岩有很大的关系, 但认为成矿受后期构造控制, 对其典型的海底热液喷流成因标志没有认识。研究区硅质岩地质特征与铜多金属矿床联系非常紧密, 或与矿体互层产出、或本身矿化为矿体、或分布在矿体边缘、或单独成层产出; 硅质岩地球化学特征表明, 该区硅质岩是典型的热水沉积岩。从而热水沉积硅质岩与矿床的紧密联系不仅证明了矿床的成因, 而更是成矿的一种标志, 可作研究区该类矿床的找矿标志。

5 结论

(1) 硅质岩的常量元素、稀土元素、微量元素特征说明研究区硅质岩是弧后盆地型低温热液流体和少量海水混合形成的热水沉积岩, 可能是在热液流体传输的末端形成的, 出现在硫化物矿体的边缘位置或火山岩的顶部。其具有热液沉积物通常具有的富集 LREE、亏损 HREE (球粒陨石标准化) 等典型特征。但又呈现出代表低温热液流体和一定量海水组分参

与的 Eu 负异常、弱 Ce 负异常和 Σ REE 较高特征。

(2) 稀土元素 Eu 负异常特征、较高 Σ REE 和常量元素 $N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$ 特征说明二郎坪群硅质岩的沉积环境不同于洋中脊环境, 而是与弧后盆地环境相似, 并且该弧后盆地规模在南阳盆地东西存在差异。南阳盆地以东弧后盆地的规模较大, 其 $N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)} = 0.30 \sim 0.45$, 反映硅质岩的热液成分比例大, 受陆缘物质影响小; 而南阳盆地以西弧后盆地的规模较小, 其 $N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)} = 0.59$, 热水成因硅质岩 Al 含量相对较高, 说明受到陆缘物质影响相对大。这为二郎坪群形成于弧后盆地环境的观点提供了新的重要证据。

(3) 热水沉积硅质岩与铜多金属矿床的密切关系指示研究区铜金属矿床是海底热液喷流沉积成岩成矿作用的产物。硅质岩是铜多金属矿床成矿作用的一种标志, 可作该类矿床的找矿标志。

参考文献 (References)

- 1 Chamock H. Anomalous bottom water in the Red Sea. *Nature*, 1964, 203: 590-591
- 2 Mills R A, Densmore C D. Hot brines and recent iron deposits in deeps of the Red Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1966, 30: 341-359
- 3 Skomvayaona I S. Dispersed iron and manganese in Pacific Ocean sediments. *International Geology Review*, 1965, 7: 2161-2174
- 4 Edmond J M. Crest hydrothermal activity and the balance of the major and minor elements in the ocean: the Galapagos date. *Earth Planetary Science Letters* 1979, 46: 1-8
- 5 Thompson G. Basalt-seawater interaction. In *hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*. New York: Plenum, 1983. 225-278
- 6 孙省利, 曾允孚. 西成矿化集中区热水沉积岩物质来源的同位素示踪及其意义. *沉积学报*, 2002, 20 (1): 41-46 [Sun Xingli, Zeng Yunfu. Isotopic tracer of material origin for hydrothermal sedimentary rocks and significance in Xicheng mineralization area. *Acta Sedimentologica Sinica* 2002, 20 (1): 41-46]
- 7 吴志亮, 李峰. 热水沉积成岩成矿作用——以泥盆纪火山沉积盆地为例. 北京: 地质出版社, 1996. 48-78 [Wu Zhiliang, Li Feng. *Hydrothermal Solutions Deposit Lithogenesis and Mineralization Taking Sedimentary Basin of Devonian in Aaltai As An Example*. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 48-78]
- 8 张国伟, 张本仁, 袁学诚等. 秦岭造山带造山过程和岩石圈三维结构图丛. 北京: 科学出版社, 1996 [Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng et al. *Book of Orogenic Process and Lithosphere Three Dimension Framework in Qinling Orogenic Belt*. Beijing: Science Press, 1996]
- 9 邱家骥, 张珠福. 北秦岭早古生代海相火山岩. *河南地质*, 1994, 12 (4): 263-274 [Qiu Jiexiang, Zhang Zhufu. Marine volcanic rocks of early Paleozoic in north Qinling. *Geology of Henan* 1994, 12 (4):

- 263-274]
- 10 邱家骧, 张珠福. 北秦岭早古生代海相火山岩的实验、成分与构造开合. 地球科学—中国地质大学学报, 1997, 22 (3): 233-239 [Qiu Jiaxiang, Zhang Zhufu. Tectonic opening closing, composition and experiment of marine volcanic rocks of early Paleozoic in north Qinling. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22 (3): 233-239]
 - 11 张本仁, 骆庭川, 高山, 等. 秦巴岩石圈构造及成矿规律演化研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 1-446 [Zhang Benren, Luo Tingchuan, Gao Shan, et al. The Research of Lithosphere Structure and Mineralization in Qinling-Dabieshan Region. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1994. 1-446]
 - 12 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连、秦岭山系海相火山岩. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 1-304 [Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, et al. Marine volcanic of Qinling and Qilian. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1991. 1-304]
 - 13 姜常义, 苏生瑞, 张振飞, 等. 对二郎坪群火神庙物质组成的质疑与再认识. 西安地质学院学报, 1995, 17 (2): 2-5 [Jiang Changyi, Su Shengrui, Zhang Zhengfei, et al. Questioning and reunderstanding of Huoshengniao Formation composition in Erlangping Group. Journal of Xi'an College of Geoscience, 1995, 17 (2): 2-5]
 - 14 卢松年, 李怀坤, 陈志宏, 等. 秦岭中—新元古代地质演化及对RODINIA超级大陆事件的响应. 北京: 地质出版社, 2003. 118-124 [Lu Songnian, Li Huakun, Chen Zhihong, et al. Geologic Evolution of Qinling of Mesoproterozoic and Response to RODINIA Supercontinent Event. Beijing: Geological Publishing House, 2003. 118-124]
 - 15 孙勇, 卢欣祥, 韩松, 等. 北秦岭二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学. 中国科学 (D辑), 1996, 26 (增刊): 49-55 [Song Yong, Lu Xingxiang, Han Song, et al. Geochemistry and composition of ophiolite suite in Erlangping Group of north Qinling. Science in China (Series D), 1996, 26 (Suppl): 49-55]
 - 16 张成立, 高山, 张国伟, 等. 秦岭造山带蛇绿岩带硅质岩的地球化学特征及其形成环境. 中国科学 (D辑), 2003, 33 (12): 1154-1162 [Zhang Chengli, Gao Shan, Zhang Guowei, et al. Geochemistry characteristics of ophiolite suite cherts in Qinling orogenic belt and its formation environments. Science in China (Series D), 2003, 33 (12): 1154-1162]
 - 17 张思纯, 唐尚文. 北秦岭早古生代放射虫硅质岩的发现与板块构造. 陕西地质, 1983 (2): 1-9 [Zhang Sichun, Tang Shaowen. Plate tectonics and discovery of Radiolarian cherts of early Paleozoic in north Qinling. Geology of Shanxi, 1983, (2): 1-9]
 - 18 王学仁, 华洪, 孙勇, 等. 河南西峡湾潭地区二郎坪群中微体化石研究. 西北大学学报, 1995, 25 (4): 353-35 [Wang Xueren, Hua Hong, Song Yong, et al. A study on microfossils of the Erlangping Group in Wantan area Xixia County, Henan Province. Journal of Northwest University, 1995, 25 (4): 353-35]
 - 19 方维萱, 卢继英. 陕西银洞子大西沟菱铁矿多金属矿床热水沉积岩相特征及成因. 沉积学报, 2000, 18 (3): 431-438 [Fang Weixuan, Lu Jiyong. Genesis and characteristics of hydrothermal sedimentary facies for siderite silver polymetallic deposits in Yindongzi Daxigou Shaanxi, China. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (3): 431-438]
 - 20 曾志刚, 蒋富清, 秦蕴珊, 等. 现代海底热液沉积物的硫同位素组成及其地质意义. 海洋学报, 2001, 23 (3): 48-55 [Zeng Zhigang, Jiang Fuqing, Qin Yunshan, et al. Sulfur isotopic composition of modern seafloor hydrothermal sediment and its geological significance. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23 (3): 48-55]
 - 21 Murray R W, Buchholtz ten Brink M R, Gerlach D C, et al. Rare major and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56: 2657-2671
 - 22 杨建民, 王登红, 毛景文, 等. 硅质岩岩石化学方法及其在“镜铁山式”铁矿床中的应用. 岩石矿物学杂志, 1999, 18 (2): 108-120 [Yang Jianmin, Wang Denghong, Mao Jingwen, et al. The petrochemical research method for silicalite and its application to the “Jingtieshan type” iron deposits. Acta Petrologica et Mineralogica, 1999, 18 (2): 108-120]
 - 23 Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. Sedimentary Geology, 1994, 90: 213-232
 - 24 Spy P G. Geochemistry and origin of cotecules (spessartine-quartz rocks) associated with metamorphosed massive sulfide deposits. In: Spy P G, Bryndia L T, eds. Regional Metamorphism of Ore Deposits and Genetic Implications. Holland: VSP, 1990
 - 25 Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the northern Pacific. Geological significance as indication of ocean ridge activity. Sedimentary Geology, 1986, 47: 125-148
 - 26 Murray R W, Jones D L, and Buchholtz ten Brink M R. Diagenetic formation of bedded chert: evidence from chemistry of the chert-shale couple. Geology, 1992, 20: 271-274
 - 27 丁振举, 刘丛强, 姚书振, 等. 海底热液沉积物稀土元素组成及其意义. 地质科技情报, 2000, 19 (1): 27-35 [Ding Zhenju, Liu Congqiang, Yao Shuzhen, et al. REE composition and implication of hydrothermal sedimentation of sea-floor. Geological Science and Technology Information, 2000, 19 (1): 27-35]
 - 28 Michard A, Albarède F, Michard G, et al. Rare-earth elements and uranium in high-temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field (13N). Nature, 1983, 303: 795-797
 - 29 Michard A, Albarède F. The REE content of some hydrothermal fluids. Chemical Geology, 1986, 55: 51-60
 - 30 Michard A. Rare earth elements systematics in hydrothermal fluids. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 745-750
 - 31 Mills R A, Ellerbild H. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG Mound 26°N Mid-Atlantic Ridge. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 3511-3524
 - 32 Cocherie A, Calvez J Y, Oudin-Dunlop E. Hydrothermal activity as recorded by Red Sea sediments Sr-Nd isotopes and REE signatures. Marine Geology, 1994, 118: 291-302
 - 33 Barrett T J, Jarvis J, Jarvis K E. Rare earth element geochemistry of

- massive sulfide-sulfates and gossans on the Southern Explorer Ridge
Geology 1990, 18: 583-586
- 34 Savelli C, Marani M, Gamberi F. Geochemistry of metalliferous hydrothermal deposits in the Aeolian arc (Tyrrhenian Sea). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1999, 88: 306-323
- 35 薛春纪, 马国良, 隈合明, 等. 南秦岭主要类型热水沉积岩的 REE 地球化学. 西安地质学院学报, 1996, 18(3): 21-28 [Xue Chunji, Ma Guoliang, Yuan Heming, *et al.* REE geochemistry of main types of hydrothermal sedimentary rocks in south Qinling. Journal of Xi'an College of Geology, 1996, 18(3): 21-28]
- 36 Mitra A, Elderfield H, Thomson J. Rare earth elements in submarine hydrothermal fluids and plumes from the Mid-Atlantic Ridge. Marine Chemistry, 1994, 47: 217-236
- 37 Haskin L A, Haskin M A, Frey F A, *et al.* Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In Ahrens L H, ed. Origin and Distribution of the Elements, Vol. 1. Oxford: Pergamon, 1968: 889-911
- 38 涂光炽. 热水沉积矿床. 四川地质科技情报, 1987, 5(1): 1-5 [Tu Guangzhi. Hydrothermal sedimentary deposits. Geological Science and Technology Information of Sichuan, 1987, 5(1): 1-5]
- 39 Rona P A, *et al.* Hydrothermal mineralization at ocean ridges. The Canadian Mineralogist-Sea-floor Hydrothermal Mineralization, 1988, 26(3): 431-466
- 40 杨成奎. 云南东川滥泥坪矿区因基因组顶部硅质岩成因及其找矿意义. 地质找矿论丛, 1996, 11(3): 27-35 [Yang Chengkui. Genesis of cherts at top of Yim in Formation in Lanniping mine area Dongchuan Yunnan Province and its significance to ore prospecting. Review of Geology Prospecting, 1996, 11(3): 27-35]
- 41 孙少华, 张琴华, 秦清香, 等. Sr/Ba-V/N 比值的沉积地球化学意义. 见: 欧阳自远. 矿物岩石地球化学新探索. 北京: 地震出版社, 1993: 128-130 [Sun Shaohua, Zhang Qinhu, Qin Qingxiang, *et al.* Sedimentary geochemical significance of Sr/Ba-V/N ratio. In: Ouyang Ziyuan, ed. New Research of Mineral and Petrologic Geochemistry. Beijing: Earthquake Publishing House, 1993: 128-130]
- 42 侯增谦, 韩发, 夏林圻, 等. 现代与古代海底热水成矿作用. 北京: 地质出版社, 2003 [Hou Zengqian, Han Fa, Xia Linqi, *et al.* Hydrothermal Solutions Mineralization of Sea-floor of Modern and Ancient. Beijing: Geological Publishing House, 2003]

Geochemical Characteristics of Hydrothermal Cherts of Erlangping Group in East Qinling and Their Geologic Significance

FENG Sheng-bin^{1,2} ZHOU Hong-ru² YAN Chang-hai³
PENG Yi³ YUAN Xia-qin¹ HE Jing¹

(1 Research Institute of Exploration and Development of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an 710024;

2 School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3 Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450007)

Abstract The genetic study of the cherts in Erlangping Group is the key to reveal copper polymetallic deposits genesis and tectonic setting of Erlangping Group. By studying the geological and geochemical characters of the three types of cherts in Erlangping Group in the east Qinling orogenic belt, it is believed that the cherts in Erlangping Group are hydrothermal sedimentogenic rocks. The major elements characteristic value ($N_{(Al)} / N_{(Al+Fe+Mn)}$) indicates that the cherts were formed in different marine environments. The cherts formed at the west of Nanyang basin were deposited in continental margin basin environment, but those formed at the east of Nanyang basin were deposited in pelagic environment and had a little of material from the continental margin. Comprehensive analysis of rare earth elements geochemistry (negative Eu, Ce anomaly) and geobgy characteristics of the cherts show that the cherts of Erlangping Group are formed by the mixing of back-arc basin type hydrothermal solutions of low temperature and seawater, so a new evidence is provided to determine the back-arc basin tectonic setting of Erlangping Group. The paragenetic relationship of hydrothermal sedimentogenic cherts and copper polymetallic deposits manifest that the copper polymetallic deposits are formed by the submarine hydrothermal exhalative lithogenesis and mineralization.

Key words East Qinling Mountain, Erlangping Group, chert, hydrothermal sediment