

南秦岭旬阳盆地下古生界热水沉积成矿地球化学

薛春纪¹, 刘淑文², 冯永忠³, 李强², 王涛², 朱经祥⁴, 吴邦朝⁴

XUE Chunji¹, LIU Shuwen², FENG Yongzhong³, LI Qiang²,

WANG Tao², ZHU Jingxiang⁴, WU Bangchao⁴

1. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 长安大学成矿作用及其动力学国土资源部开放研究实验室, 资源学院, 陕西 西安 710054;

3. 甘肃省国土资源信息中心, 甘肃 兰州 730000; 4. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054

1. *Key Laboratory of Lithospheric Tectonics, Processes in Deep and Probing Technique, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Open Laboratory of Mineralization Dynamics, Ministry of Land and Resources, Faculty of Earth Sciences and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*

3. *Gansu Information Center of Land and Resources, Lanzhou 730000, Gansu, China;*

4. *Shaanxi Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*

摘要:新近在南秦岭旬阳盆地志留系中发现重要铅锌矿化, 含矿岩系主要是下、中志留统弱变质含炭细碎屑岩和新发现识别出的热水沉积炭硅质岩、钠长石岩等; 矿体呈层状与志留系整合产出, 含矿层中有热水沉积硅质岩和铁碳酸盐岩。矿床REE地球化学反映铅锌矿石、硅质岩和钠长石岩的形成物质可能来自盆下源深处, 成岩成矿作用具有热水沉积性质; 岩矿石稳定同位素组成指示成矿流体为深部来源, 成矿流体中富含CO₂(18.656~35.063 mol%), 成矿温度135~297℃; 矿石S和Pb同位素组成反映S来源于深部, Pb来自盆地基底和沉积地层。受地幔热点控制的扬子北缘古生代伸展海盆中, 热水沉积是旬阳盆地志留系铅锌成矿的基本方式。

关键词:热水沉积; 成矿地球化学; 下古生界; 南秦岭旬阳盆地

中图分类号: P534.4; P611

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2005)10~11-0927-08

Xue C J, Liu S W, Feng Y Z, Li Q, Wang T, Zhu J X, Wu B C. Geochemistry of hydrothermal sedimentary mineralization in the Lower Paleozoic of the Xunyang basin, South Qinling, China. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(10-11): 927-934

Abstract: Recently, important Zn-Pb deposits have been discovered in the Silurian of the Xunyang basin in the South Qinling. The ore-bearing sedimentary sequence consists of predominantly of Lower-Mid Silurian weakly metamorphosed carbonaceous fine-clastic rocks and hydrothermal sedimentary carbonaceous-siliceous rocks and albite rock and siliceous rock recognized recently. The stratiform orebodies are concordant with the Silurian strata, and the ore horizon contains hydrothermal sedimentary siliceous rocks and iron carbonate rocks. The REE geochemistry of Zn-Pb ores, albite rock and siliceous rocks shows that their material may have come from the depths below the basins. The ore-forming fluids are rich in CO₂(18.656-35.063 mol%) with ore-forming temperatures ranging from 135°C to 297°C, and the stable isotopic composition of the rocks and ores indicates a deep origin of ore-forming fluids. The sulfur and lead isotopic compositions of ores indicates that ore

收稿日期: 2005-04-22; 修订日期: 2005-08-12

基金项目: 中国地质调查局综合研究项目(200310200040), 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室科学基金(2003002)和教育部分优秀青年教师资助计划项目联合资助。

作者简介: 薛春纪(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事矿床学、矿床地球化学和矿产勘查教学与研究。E-mail: chunjix@chd.edu.cn

sulfur was derived from the depths, while lead from the lower Paleozoic basement and sediments below the ore-bearing strata. In the mantle hot spot-controlled Paleozoic extensional sea basin on the northern margin of the Yangtze block, Silurian hydrothermal sedimentation is the basic manner of lead-zinc mineralization in the Xunyang basin.

Key words: hydrothermal sediment; metallogenic geochemistry; Lower Paleozoic; Xunyang basin, South Qinling

大陆边缘深浅部沟通、流体汇聚、矿源丰富、热动力异常并长期活动,是成矿作用最显著的地带之一,世界上很多大型和超大型矿床都分布在大陆边缘^[1]。很多边缘盆地充填中水成沉积和热水沉积2个序列并存,完整记录着大陆边缘演化和成岩成矿作用^[2]。南秦岭是扬子陆块北部被动陆缘上发展起来的边缘伸展海盆,中—新生代又经历造山过程,古生界中形成了重要贵重—有色金属矿床;对上古生界,尤其是泥盆系中的层控汞铋、铅锌矿床(如公馆、厂坝、铅硐山、银洞子等)较早就开展了勘探和研究^[3-5],最近十余年金矿床(如礼坝、八卦庙、双王、金龙山等)勘探与研究取得了进展^[6-8]。但对南秦岭广泛分布的下古生界的矿产勘查与研究薄弱。最近陕西省地质调查院在旬阳盆地下古生界中实现了铅锌矿床勘查的重要突破,先后发现黄石板、泗人沟、关子沟、南沙沟等重要铅锌矿床,使这个边缘盆地成为新的铅锌矿集区(图1)^[9]。本文以这里新发现的铅锌矿床为对象,试图认识南秦岭下古生界中铅锌成矿的地球化学特征。

1 南秦岭大陆动力学过程

旬阳盆地古生界属于扬子陆块北缘的沉积体系,位于秦

岭微板块^[10]东部(图1)。扬子北缘晋宁运动中形成的基底多有出露,但性质不一,有由中深变质、多期变形和深层流变的(小磨岭、陡岭)华北型结晶陆块和(佛坪)扬子古老杂岩,也见(牛山、平利、武当)古—中元古代裂谷火山岩系组成的过渡型基底(图1)。这对南秦岭古生代海盆的形成和演化有重要影响。

南秦岭海盆接受了从寒武系到三叠系基本连续的海相页岩、碎屑岩、碳酸盐岩等水成沉积,热水沉积同盆共存,沉积建造属于次稳定型,海盆具有裂谷/裂隙性质^[2]。下古生界与震旦系连续沉积,属于扬子北缘被动陆缘裂陷海槽沉积,发育炭硅质泥岩和火山凝灰岩,伸展背景下的火山活动和海底热水沉积较明显,沉降中心呈东西向的带状展布在安康—双河一线。从泥盆纪开始,勉略构造带活动,导致扬子北缘进一步裂解,南秦岭成为处于扬子与华北陆块之间的微板块;继续发展的伸展构造背景、同沉积(基底)构造造成微板块内地堑—地垒发育,演化出复杂的构造—沉积环境,呈现洋陆兼杂的多岛海域。由于秦岭微板块北缘沿商丹构造带受到华北板块俯冲,南缘沿勉略带裂陷—扩张^[7],早古生代原安康—双河带状沉降中心在晚古生代出现相对隆升,而在其北侧枋

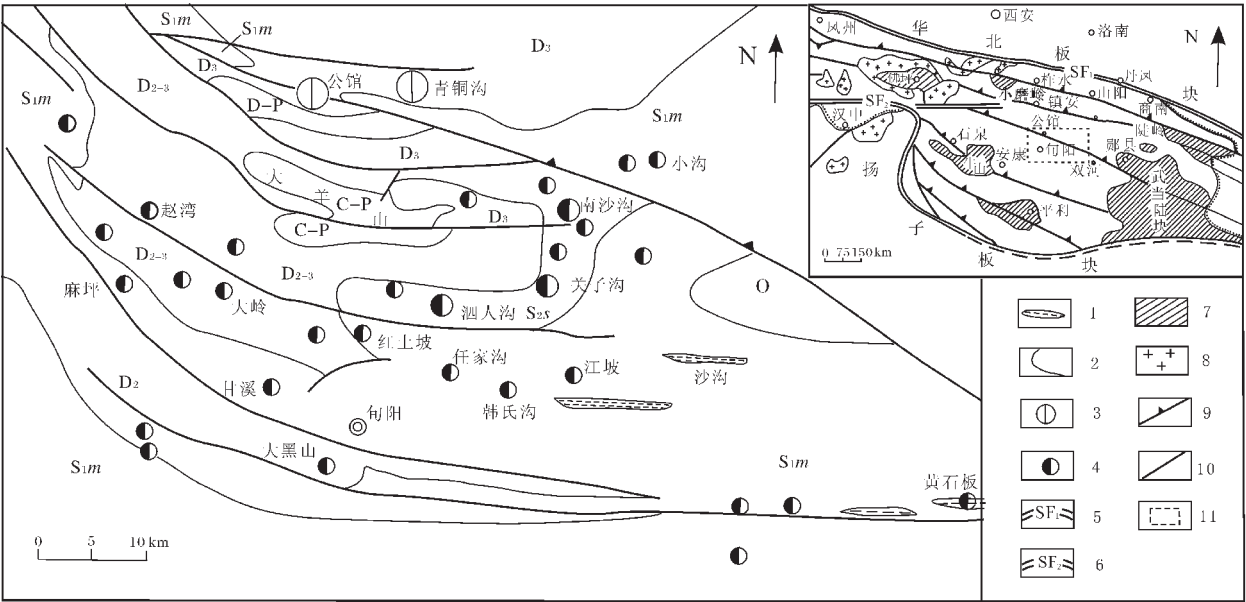


图1 南秦岭旬阳盆地的位置及地质矿产简图(据参考文献[9,10]资料编制)

Fig.1 Location,geology and ore deposits in the Xunyang basin, South Qinling

C—P—石炭系—二叠系;D—P—泥盆系—二叠系;D₃—上泥盆统;D₂—中泥盆统;

S_{2s}—中志留统双河镇组;S_{1m}—下志留统梅子垭组;O—奥陶系

1—钠长石岩;2—地层界线;3—汞铋矿床;4—铅锌矿床;5—商丹构造带;6—勉略构造带;7—前寒武纪基底陆块;

8—中生代花岗岩;9—区域断裂;10—矿区断裂;11—重点工作地区

水—山阳一线出现带状沉降中心。

岩浆作用也记录了南秦岭古生代伸展过程。区域上,岩浆活动在紫阳—岚皋地区表现为早古生代碱性岩浆侵入^[1],在武当陆块形成主体顺层侵位的基性侵入岩群(锆石U—Pb年龄401~407 Ma^[2]),在勉略构造带内出现中生代蛇绿岩和岛弧火山岩^[3],在紫阳—平利一带志留系中发育一套沉积—碱性火山熔岩(粗面岩)建造^①。它们指示古生代曾经历了边缘伸展过程。构造地质和沉积学研究也在南秦岭揭示出古生代伸展构造^[4]和塌陷盆地^[5]。扬子北缘古生代存在深部岩浆底侵作用,古生代地幔热点活动明显。

中生代开始华北和扬子两陆块碰撞,古生代海盆水体自东而西退去,先后结束沉积,造山带形成,成矿作用进入一个重要时期。造山过程中的南秦岭总体受到南北向强烈挤压,但在旬阳盆地,由于其东侧存在武当—陡岭古老基底隆起带,西侧存在平利—牛山—佛坪—小磨岭古老基底隆起带(图1),形成了对造山过程中南北向挤压的砥柱作用,使居于其中的古生代盆地原型得到较好保存。事实上,在这个次级盆地内,水成沉积和热水沉积仅见弱变质,单斜岩层和板岩地层普遍发育,是认识下古生界中成岩成矿作用地球化学的较理想地区。

2 矿床地质

旬阳盆地内出露地层是奥陶系—二叠系碎屑岩—泥岩—碳酸盐岩建造,重要铅锌矿床产于志留系中(图1)。奥陶系主要是含燧石条带及结核的白云质灰岩、泥灰岩和钙泥质板岩。下志留统梅子垭组与下伏奥陶系连续沉积,由一套灰到深灰色的粉砂千枚岩、含炭绢云千枚岩夹灰绿色凝灰质变砂岩、细砂岩条带组成,局部见灰黑色硅质岩、含炭硅质板岩,属半封闭局限海盆一次深海相沉积;目前在这套地层内发现了包括麻坪、甘溪、韩氏沟、黄石板等在内的许多铅锌矿床。中志留统双河镇组与下伏梅子垭组整合接触,主要由灰—深灰色绢云千枚岩、灰黄—灰绿色粉砂质绢云千枚岩、深灰色中—厚层生物碎屑灰岩及少量石英细砂岩、泥质粉砂岩组成,是泗人沟、关子沟、南沙沟等重要铅锌矿层赋矿层位(图1)。泥盆系下统由下部的砂砾岩、砂岩、粉砂岩和上部的白云岩、白云质灰岩组成,公馆、青铜沟等超大型汞—锑矿床产在上部白云岩和白云质灰岩中;泥盆系中统主要是泥灰岩、泥晶灰岩夹石英砂岩;泥盆系上统岩性主要是砂质灰岩。石炭系主要是灰色—灰黑色燧石条带/结核灰岩夹灰黑色页岩、泥岩。二叠系沉积岩主要是灰黑色、灰色、紫红色灰岩和泥灰岩。盆地内古生界呈现出以大羊山复式背斜为代表的主体褶皱构造,褶皱轴近东西向(图1)。断裂构造呈弧形,走向近东西,更多体现出造山期的构造形迹。矿田内未见岩浆岩体出露。

以泗人沟、关子沟、南沙沟3个重要铅锌矿床为例,铅锌

矿体呈层状、透镜状整合产于中志留统双河镇组灰绿色绿泥石绢云母千枚岩和泥质板岩中,矿体与地层同步变形,成矿作用具有明显的同生沉积性质。矿体厚度通常几十厘米到几米,个别矿床(如黄石板)达十几米。矿层底板常见铁白云石钠长石岩、铁镁碳酸盐岩、菱铁矿岩等,明显富集Na、Fe、Mg等元素,顶板为正常地层岩石,表现出铅锌矿层顶底板岩性的不对称性,这是热水沉积的重要特征之一。

含矿层内常见硅质岩层,矿层中层状铅锌硫化物、硅质岩与其之下的钠长石岩和铁镁碳酸盐岩组成典型的连续沉积剖面,并且与水成碎屑及泥质沉积地层整合产出,沉积韵律明显。围岩蚀变不明显,有时见矿层底盘硅化,矿层与地层间界线截然。

矿床中以硫化物矿石为主,氧化物矿石很少。矿石的矿物成分简单,主要由闪锌矿构成,其次为方铅矿、黄铁矿、黄铜矿;脉石矿物主要是石英,其次是绢云母、方解石、少量绿泥石和炭质。硫化物以闪锌矿为主要经济矿物,方铅矿闪锌矿混合矿石较少,独立的方铅矿矿石少见。闪锌矿为深棕色—棕黑色,形成温度较高。

矿石发育块状、层状及层纹状构造,也见浸染状构造。块状矿石由闪锌矿(方铅矿)中粗粒晶体组成,闪锌矿含量在80%以上,多构成规模较大的矿体;层状构造主要是闪锌矿层纹(0.2~0.5 cm)与含矿硅质岩(0.2 cm)互层,矿石中闪锌矿含量在60%左右;层纹状构造是细晶闪锌矿、方铅矿在水成沉积泥质板岩/千枚岩中形成的细薄层纹(0.2~0.3 cm)。另外,近矿围岩中也见浸染状闪锌矿、方铅矿。闪锌矿发育微晶(0.05~0.08 mm)和中粗粒(0.2~1 mm)半自形—自形结晶结构。

3 伴生热水沉积岩

本次研究在旬阳盆地—中志留统中新发现和识别出多处与铅锌矿床伴生的钠长石岩、硅质岩等热水沉积岩^[16,17]。地质填图表明,钠长石岩发现于下志留统梅子垭组,西起旬阳棕溪、沙沟,东到白河高家沟、黄石板,地表断续出露几十千米,呈层状、透镜状产出,走向与梅子垭组一致(图1);剖面上钠长石岩作为海盆沉积体的一个组成部分,呈中—厚层状与水成沉积地层整合产出,且同步变形,岩层厚度5~69 m。钠长石岩虽与梅子垭组水成沉积岩层连续整合沉积,但其相对厚层、浅色、高能干、弱变形等鲜明特性使它与水成沉积岩明显不同。钠长石岩为灰—灰白色,主要由钠长石和少量石英、铁白云石、电气石组成,层状构造,均粒微晶结构。钠长石微晶半自形—自形,无磨圆,粒度0.01~0.05 mm,多不显双晶,部分具有钠长石律和卡—钠复合律双晶,在岩石中含量约70%~75%。石英为微晶结构,粒度0.01~0.05 mm,与钠长石共生,含量约15%。岩石中的铁白云石是半自形—自形菱面体晶体,粒度0.02~0.08 mm,呈星散状分布在岩石内,含量约5%。电气石在钠长石岩内常见,半自形针状晶体,均匀分布在岩石中。钠

① 陕西省地矿局区域地质调查队.1:20万紫阳幅修测报告.1989.

长石岩以富含 Na_2O 、 SiO_2 和 Al_2O_3 为特征(表1),富Fe、Mn而贫Co、Ni、Cu等微量元素,在Fe-Mn-(Cu+Co+Ni) $\times 10$ 三角图上^[18]明显集中在热液沉积区内(图2)。

硅质岩在研究区出现2种产状,即含矿岩系下志留统梅子垭组中的炭硅质(板)岩和含矿层内的含矿微晶—细晶硅质岩。含矿岩系中的炭硅质岩在许多岩相学特点方面可与南秦岭寒武系底部热水沉积炭硅质岩系^[9]对比。含矿层内微晶—细晶硅质岩浅灰色,呈层状—层纹状,并常与硫化物互层,主要由微晶—细晶石英构成,含有少量铅锌硫化物矿物和炭质,微晶—细晶均粒结构,微晶石英粒度0.05~0.07 mm,其中未见任何生物结构。这种微晶—细晶硅质岩与造山期的粗晶石英(脉或团块)是2种截然不同的矿物岩石相,其化学成分纯净, SiO_2 含量多在90%以上(表1),Fe、Mn、(Cu+Ni+Co) $\times 10$ 组成特点具热水沉积性质(图2)。

4 成矿地球化学

旬阳盆地内重要铅锌矿石、钠长石岩、硅质岩和志留系水成沉积地层岩石的稀土元素ICP-MS分析结果见表2。相对于志留系水成沉积地层岩石,铅锌矿石、硅质岩和钠长石岩的 ΣREE 明显偏低, ΣREE 表现出水成沉积岩>钠长石岩>硅质岩>铅锌矿石(图3)。尤其是铅锌矿石和硅质岩的 ΣREE 明显比含矿岩系中水成沉积地层岩石低很多,可能反映铅锌矿石、硅质岩和钠长石岩的成岩成矿物质来自盆下源深处,并非(具有较高 ΣREE 的)大陆风化的产物,而水成沉积地层岩石较高的 ΣREE 可能主要与陆源风化物来源有关。也可能是由于志留系水成沉积岩石多为泥岩和粉砂泥岩, ΣREE 较高,而钠长石岩、硅质岩和铅锌矿石属热水化学沉积岩, ΣREE 较

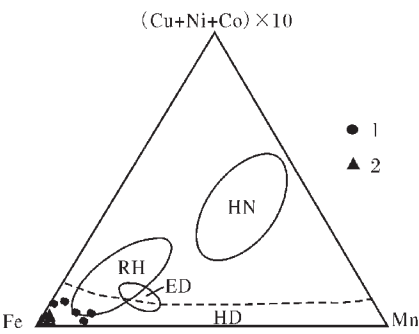


图2 旬阳盆地志留系钠长石岩和硅质岩在Fe-Mn-(Cu+Ni+Co) $\times 10$ 图解中的位置(背景图据参考文献[18])

Fig.2 Fe-Mn-(Cu+Ni+Co) $\times 10$ diagram of Silurian albitite rock and siliceous rocks in the Xunyang basin, South Qinling

1—钠长石岩;2—含矿层内硅质岩;HN—水成沉积物区;
HD—热液沉积物区;RH—红热热液沉积物区;
ED—东太平洋中脊热液沉积物区

低。从底板—矿层—顶板, ΣREE 先是降低,再升高,矿层的 ΣREE 最低,底板 ΣREE 低于顶板。 REE 配分模式(图3)显示,钠长石岩与盆地内志留系水成沉积地层岩石相似,硅质岩与铅锌矿石相似。但钠长石岩的岩相学特征与志留系水成沉积岩石有很大区别,两者 REE 配分模式相似性很可能说明钠长石岩的成岩物质是(通过盆地流体-岩石反应)来自水成沉积地层。硅质岩和铅锌矿石 REE 配分模式相似性指示它们具有

表1 旬阳盆地志留系钠长石岩和硅质岩石化学成分
Table 1 Chemical compositions of Silurian albitite rock and siliceous rocks in the Xunyang basin, South Qinling

样品号	样品性质	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	LOI	Fe ₂ O ₃	FeO	S	Cu	Co	Ni
BH-4	钠长石岩角砾	6.70	4.03	11.64	58.14	0.18	0.14	6.55	0.60	0.06	9.59	0.22	1.44	10.3	10.6	7.50	7.50
BH-5	细粒钠长石岩	6.42	4.16	10.96	58.72	0.22	0.01	6.89	0.57	0.05	9.85	0.28	1.13	14.2	3.88	6.30	6.30
B-12	细粒钠长石岩	7.18	3.70	12.67	59.35	0.12	0.16	6.03	0.64	0.04	8.57	0.25	1.10	9.01	1.31	11.0	11.0
B-24	钠长石岩角砾	5.41	6.00	11.04	53.37	0.17	0.62	8.48	0.50	0.03	11.28	0.75	1.98	15.1	5.51	61.4	61.4
B-13	绿泥钠长石角砾岩	9.14	2.08	18.15	63.05	0.09	0.32	0.31	0.79	0.02	1.31	1.59	2.51	34.7	13.6	31.2	31.2
B-15	黑云钠长石角砾岩	6.87	2.94	15.28	67.30	0.12	1.65	0.35	0.87	0.03	0.70	0.81	2.42	8.15	11.8	41.1	41.1
钠长石岩平均		6.95	3.82	13.29	59.99	0.15	0.48	4.77	0.66	0.04	6.88	0.65	1.76		15.24	7.78	26.4
XND-32	硅质岩	0.30	0.05	0.62	97.71	0.01	<0.01	0.22	0.01	0.02	0.21	0.07	0.47	0.10	27.2	3.15	3.94
XN-29	硅质岩	0.40	0.20	0.66	96.45	0.02	0.03	0.44	0.01	0.04	0.47	0.18	0.70	0.24	16.7	17.7	19.9
XG-81	硅质岩	0.06	0.12	1.73	91.81	0.10	0.54	0.24	0.07	0.01	1.25	0.08	0.74	1.41	26.4	17.2	6.60
XG-82	硅质岩	0.02	2.10	3.02	81.88	0.09	0.96	3.73	0.17	0.17	5.51	0.20	1.51	0.008	19.1	14.0	23.6
XG-53	硅质岩	0.65	1.29	3.94	80.69	0.11	0.91	3.65	0.16	0.40	5.02	0.44	2.01	0.005	15.7	23.2	28.8
硅质岩平均		0.29	0.75	1.99	89.71	0.07	0.61	1.66	0.08	0.13	2.49	0.19	1.09	1.41	21.02	15.05	16.57

注:国家地质实验测试中心分析;氧化物含量%,Cu、Co、Ni含量10⁻⁶;LOI为烧失量,包括CO₂、H₂O⁺、H₂O等

表2 旬阳盆地志留系铅锌矿石、钠长石岩、硅质岩和水成沉积岩的REE分析结果

Table 2 REE analysis of Silurian Zn-Pb ores, siliceous rocks, albite rocks and strata in the Xunyang basin, South Qinling

样品号	样品性质	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
B-12	细粒钠长石岩	22.9	46.7	5.15	18.5	3.46	0.67	3.34	0.53	3.37	0.67	2.06	0.29	1.92	0.30
B-13	绿泥钠长石岩	39.9	76.3	9.12	32.5	5.99	1.31	5.13	1.07	4.07	1.01	2.58	0.60	2.66	0.58
B-15	黑云钠长石角砾岩	30.9	70.0	6.76	24.2	4.34	0.84	3.61	0.58	2.65	0.58	1.63	0.31	1.80	0.34
B-24	钠长石岩角砾	29.4	58.4	6.92	26.1	5.35	1.20	5.51	0.91	5.27	1.12	3.15	0.46	2.59	0.41
2002xt3 ^①	钠长石角砾岩	43.0	77	5.82	31.4	5.3	1.02	4.83	0.73	4.93	0.97	2.8	0.38	2.37	0.34
XN-29	硅质岩	0.9	1.90	0.28	0.98	0.26	0.08	0.22	0.04	0.20	0.05	0.11	0.02	0.10	0.02
XND32	硅质岩	0.50	1.05	0.19	0.58	0.15	0.05	0.17	0.03	0.12	0.03	0.05	0.01	0.05	0.01
XG-53	硅质岩	11.1	24.0	2.81	11.4	3.22	0.99	3.36	0.50	2.78	0.55	1.44	0.20	1.21	0.17
XG-59	硅质岩	17.5	36.5	4.18	16.1	3.86	1.15	3.77	0.57	3.32	0.63	1.80	0.25	1.62	0.24
XG-81	硅质岩	8.77	20.5	2.18	9.03	2.08	0.62	1.91	0.28	1.38	0.26	0.73	0.09	0.55	0.09
XG-82	硅质岩	11.3	23.0	2.56	9.62	2.10	0.52	1.95	0.29	1.64	0.32	0.92	0.13	0.77	0.13
XR-11	块状矿石	2.400	4.930	0.62	2.5	0.61	0.21	0.420	0.070	0.290	0.060	0.160	0.030	0.130	0.020
XH-2	条带矿石	19.000	38.500	4.38	15.8	2.93	0.83	2.240	0.280	1.250	0.230	0.560	0.100	0.530	0.090
xd18 ^[19]	块状矿石	12.60	30.250	3.22	14.1	3.00	0.98	2.810	0.380	2.370	0.450	1.100	0.170	0.760	0.13
539-1 ^[20]	条带状铅矿石	1.180	2.040	0.27	0.94	0.35	0.048	0.210	0.034	0.190	0.039	0.110	0.016	0.071	0.010
539-2 ^[20]	方铅矿闪锌矿	1.630	2.330	0.27	1.02	0.30	0.057	0.370	0.057	0.330	0.074	0.170	0.026	0.140	0.022
9504 ^[20]	铅锌矿石	3.100	4.600	0.55	2.17	0.63	0.085	0.440	0.081	0.390	0.086	0.190	0.030	0.170	0.025
2002xt1	绢云片岩	43.6	82.8	7.04	32.1	6.34	1.14	5.5	0.97	6.12	1.12	3.37	0.5	2.98	0.45
2002xt2	蛭石化绢云片岩	44.1	69.7	6.6	31.5	6.27	1.32	5.81	0.97	6.41	1.25	3.67	0.51	3.18	0.48
2002xt5	粉砂质千枚岩	62	105	9.14	40.9	7.6	1.77	7.31	1.12	7.33	1.4	3.94	0.59	3.62	0.57
2002xt6	石英粉砂岩	58.1	114	9.3	42.0	9.43	1.7	7.55	1.29	7.69	1.44	4.27	0.64	3.96	0.61
2002xt7	铁白云石千枚岩	45	77.4	6.6	31.6	6.2	1.27	5.37	0.84	5.25	0.99	2.95	0.42	2.63	0.4
9507 ^[20]	千枚岩	44.90	79.60	10.80	35.40	7.19	1.79	5.69	0.88	5.58	1.21	3.42	0.44	2.73	0.40
N10 ^[20]	千枚岩	54.20	91.50	12.90	40.00	7.55	1.43	5.68	0.87	5.04	1.04	3.03	0.40	2.23	0.34
SR08 ^[20]	含碳千枚岩	43.50	78.20	10.40	34.30	6.05	1.14	4.18	0.73	4.25	0.89	2.62	0.41	2.52	0.38
N17 ^[20]	粉砂岩	20.40	39.80	4.36	18.00	3.54	0.86	3.05	0.49	3.44	0.58	1.50	0.21	1.26	0.16

注:国家地质实验测试中心ICP-MS实验室分析;稀土元素含量10⁻⁶;①据陕西地矿局区调队1:20万紫阳幅修测报告,1989

相似的成岩成矿机制,这也与在空间上和时
间上两者密切共生的事实吻合。硅质岩和铅
锌矿石REE配分模式与盆地内水成沉积地
层岩石的差异可能指示它们成岩成矿物质
除来自地层岩石外,很可能有更深的来源,
如基底。

为了获得含矿层内硅质岩中微晶石英
内流体包裹体气相成分,在中国科学院地质
与地球物理研究所ICP-MS实验室,首先对
选纯的微晶石英样品用蒸馏水多次清洗,在
100℃以内烘烤除去次生包裹体后,用超声
处理每个样品以除去石英表面和裂隙中吸
附的流体,然后在石英管内真空条件下把样
品加热到500℃使包裹体爆裂,真空连通系
统直接使气体进入四极杆质谱分析(表3)。

除H₂O(63.295~79.013 mol%)外,气相成分主要为CO₂
(18.656~35.063 mol%),还有CH₄、H₂S、N₂等。在一个以沉积岩

表3 旬阳盆地志留系含矿层内硅质岩中微晶石英
流体包裹体气相成分分析结果

Table 3 Analysis of the gas phase composition of inclusions
in microcrystalline quartz of Silurian siliceous rocks
in the Xunyang basin, South Qinling

样品号	CH ₄	H ₂ O	N ₂	C ₂ H ₆	H ₂ S	Ar	CO ₂
XGD-13	0.316	63.295	1.013	0.167	0.014	0.133	35.063
XND-18	0.388	77.777	0.896	0.249	0.062	0.179	20.450
XND-32	0.233	75.800	0.742	0.235	0.026	0.187	22.776
XG-81	0.402	79.013	1.509	0.221	0.019	0.180	18.656
XG-82	0.302	66.096	1.607	0.470	0.036	0.328	31.160
XN-29	0.246	74.586	1.510	0.333	0.009	0.221	23.095

注:中科院地质与地球物理研究所朱和平和长安大学曾荣分析;气体含量mol%

为主岩的铅锌矿床成矿流体中富含CO₂是极为独特的现象,
地壳或起源于盆地沉积柱中的流体形成富含CO₂流体是很少

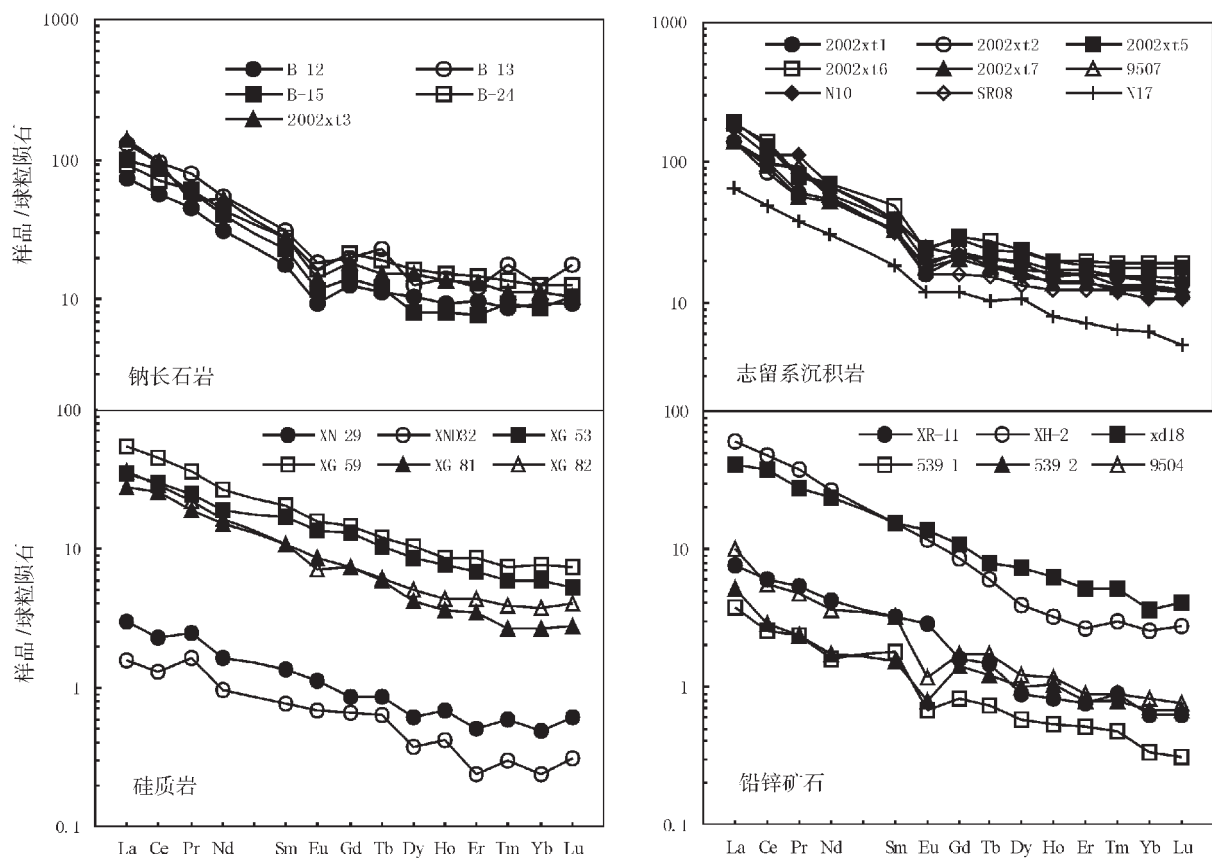


图3 旬阳盆地志留系铅锌矿石、硅质岩、钠长石岩和志留系水成沉积岩的REE配分模式
Fig.3 REE distribution patterns of Silurian Zn-Pb ores, siliceous rocks, albite rock and sedimentary strata in the Xunyang basin, South Qinling

表4 旬阳盆地志留系铅锌含矿层内硅质岩微晶石英和包裹体的H、O同位素组成
Table 4 Hydrogen and oxygen isotopic compositions of microcrystalline quartz and its inclusions in siliceous rocks in the Silurian lead-zinc ore horizon in the Xunyang basin, South Qinling

样品号	样品性质	石 英	石 英	流 体	包 裹 体
		$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta \text{D}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	均一温度/℃
XGD-13	含矿层内硅质岩	18.1	2.92	-68	135
XG-53	含矿层内硅质岩	17.8	0.71	-77	165
XG-81	含矿层内硅质岩	18.7	9.61	-79	200
XG-82	含矿层内硅质岩	18.6	7.99	-80	235
XN-29	含矿层内硅质岩	19.9	12.65	-82	297
XND-32	含矿层内硅质岩	18.5	5.33	-79	265

注:同位素分析由中国地质科学院矿产资源研究所同位素地质开放研究实验室王成玉、白瑞梅完成;流体包裹体测温在长安大学成矿作用及其动力学国土资源部开放研究实验室完成;流体包裹体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 通过石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值和均一温度,利用 $1000\ln a_{\text{石英-水}}=4.48\times10^6/(T^2)-4.77\times10^3/T+1.71$ ^[23]计算获得

见的。幔源捕掳体的流体包裹体、金刚石流体包裹体、火山喷气、近代洋脊、大陆裂谷、深大断裂的喷气活动及高温高压实验研究表明,地幔流体为C-H-O-S体系,大多数金刚石流体包裹体总质量的40%左右是CO₂和H₂O^[21]。该区沉积

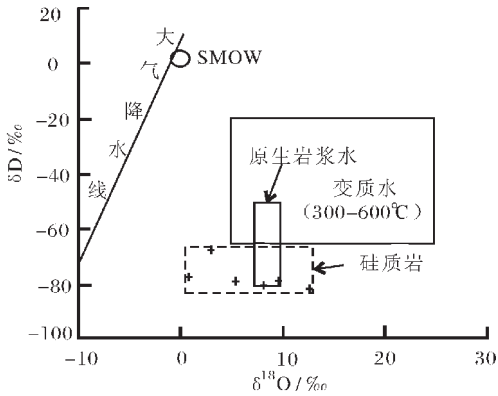


图4 旬阳盆地志留系铅锌成矿流体中水的 $\delta D-\delta^{18}O$ 组成
Fig.4 δD vs. $\delta^{18}O$ diagram of water in the Silurian Zn-Pb ore-forming fluids in the Xunyang basin, South Qinling

岩容矿铅锌矿床成矿流体气相成分类型与地幔流体相似,可能指示成矿流体来自沉积盆地深处,也可能与当时地幔热点活动有关。

含矿层内硅质岩 $\delta^{18}O_{SMOW}=17.80\text{‰}\sim 19.90\text{‰}$ (表4),与南秦岭西部寒武系热水沉积硅质岩(17.6‰~23.24‰)^[6]和东部泥盆系热水沉积硅质岩(18.6‰~20.9‰)^[2]一致,而与本区域造山期构造-热液脉石英(14.52‰)^[4]明显不同,与生物沉积硅质岩(28.6‰~32.0‰)^[22]也差异显著。硅质岩中石英流体包裹体均一温度实测值在135~297℃之间(表4),石英流体包裹体反映成矿流体H、O同位素组成偏离大气降水,明显向岩浆水和变质水漂移,部分与岩浆水重叠(图4),可能指示成矿流体中的水除来源于建造水外,有明显深源流体加入。

旬阳盆地铅锌矿石中实测硫化物15个样品的 $\delta^{34}S_{V-CDT}$ 变

化于1.1‰~14.31‰之间,平均值为6.08‰,众数值位于3‰~5‰之间;而旬阳盆地志留系泥质岩石中自生黄铁矿实测3个样品的 $\delta^{34}S$ 值变化于12.90‰~17.02‰之间,平均为15.64‰。如果认为泥岩中自生黄铁矿S同位素组成反映S来源于沉积地层本身,那么矿石中硫化物很低的 $\delta^{34}S$ 组成反映S的深部来源。

铅锌矿石硫化物13个样品Pb同位素分析, $^{208}Pb/^{204}Pb=37.9\sim 38.9$ (平均38.26)、 $^{207}Pb/^{204}Pb=15.55\sim 15.61$ (平均15.685)、 $^{206}Pb/^{204}Pb=17.2\sim 18.2$ (平均为17.87),矿石Pb同位素组成与本地区中新元古界基底(武当群、耀岭河群和郧西群变火山岩)和古生界沉积岩石的Pb同位素组成比较接近(图5),总体反映铅锌等金属成矿物质来源于古生代地层及其下的元古宇基底; $^{208}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 的比值从基底岩石、铅锌硫化物到古生界沉积岩石依次增大的趋势(图5)也可能指示了矿石Pb主体来自基底并有盖层岩石Pb的明显参入。南秦岭新元古代—早古生代碱性基性岩浆岩的 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 均较元古宇基底、志留系铅锌矿石和古生界为低,暗示岩浆活动可能仅为本区铅锌大规模成矿提供了热动力,而不是成矿物质的主要提供者。

5 结论和讨论

南秦岭下古生界是在元古宇不统一基底上伸展海盆中形成的碎屑岩-泥质岩-碳酸盐岩等水成沉积和钠长石岩-硅质岩-重晶石岩等热水沉积共同构成的盆地充填。古生代明显存在因地幔热点活动引起的深部岩浆底侵和岩石圈减薄过程,成矿作用发生于伸展海盆环境。

旬阳盆地地下古生界铅锌矿体成层整合产在志留系为主的水成沉积细碎屑岩-泥岩系内,矿田范围内无岩浆岩出露,但含矿岩系和含矿层内有呈层状、似层状与水成沉积岩层整

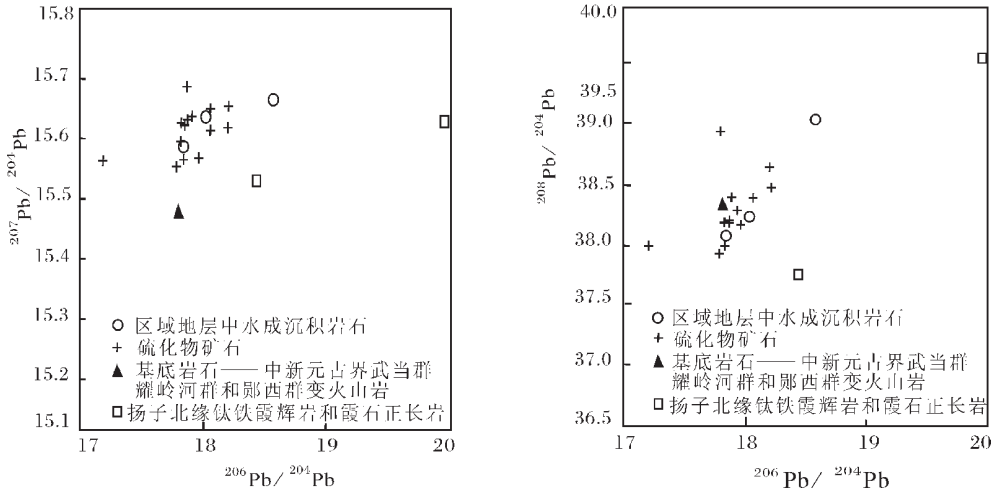


图5 旬阳盆地志留系铅锌矿石、区域岩浆岩、地层的Pb同位素组成

Fig.5 Pb isotopic composition of Silurian Pb-Zn ores, regional magmatic rocks and strata in the Xunyang basin, South Qinling

基底岩石Pb同位素资料引自参考文献[24];扬子北缘碱性基性岩Pb同位素资料引自参考文献[25]

合产出的具热水沉积性质的钠长石岩、硅质岩等。

矿床REE地球化学反映铅锌矿石、硅质岩和钠长石岩的形成物质可能来自盆下源深处,成岩成矿作用具有热水沉积性质。成矿流体中含有较高的CO₂是沉积岩容矿铅锌矿床极为少见的,矿床同位素地球化学也指示成矿流体的深部来源。矿石中S的同位素地球化学反映深部来源,Pb同位素证明矿石Pb来自盆地基底和盖层沉积。

参考文献:

[1]翟裕生,张湖,宋鸿林,等.大型构造与超大型矿床[M].北京:地质出版社,1997.51-96.

[2]薛春纪.秦岭泥盆纪热水沉积[M].西安:西安地图出版社,1997.85-122.

[3]王俊发,张复新.秦岭泥盆系层控金属矿床[M].西安:陕西科学技术出版社,1991.21-99.

[4]祁思敬,李英,隗合明,等.秦岭泥盆系铅锌成矿带[M].北京:地质出版社,1993.38-65.

[5]祁思敬,李英,隗合明,等.秦岭热水沉积型铅锌(铜)矿床[M].北京:地质出版社,1993.1-189.

[6]郑明华,周渝峰,刘建明,等.喷流型和浊流型层控金矿床[M].成都:四川科学技术出版社,1994.91-255.

[7]张复新,魏宽义,马建秦.南秦岭微细浸染型金矿床地质与找矿[M].西安:陕西科技出版社,1997.1-98.

[8]卢纪英,李作华,张复新,等.秦岭板块金矿床[M].西安:陕西科学技术出版社,2001.21-39.

[9]宋小文,侯满堂,朱经祥,等.陕西旬阳地区志留系铅锌矿矿集区特征及其成因初探[J].陕西地质,2003,21(1):1-9.

[10]张国伟,张本仁,袁学诚,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001.501-580.

[11]黄月华,任有祥,夏林圻,等.北大巴山早古生代双模式火山岩套:以高滩辉绿岩和嵩坪粗面岩为例[J].岩石学报,1992,8(3):243-

256.

[12]胡建民,赵国春,孟庆任,等.武当地块基性侵入岩群的地质特征与构造意义[J].岩石学报,2003,19(4):601-611.

[13]赖绍聪,张国伟,杨永成,等.南秦岭勉县-略阳结合带蛇绿岩和岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义 [J]. 地球化学, 1998,27(3):283-293.

[14]胡健民,孟庆任,白明武,等.南秦岭构造带中一晚古生代伸展构造作用[J].地质通报,2002,21(8-9):14-77.

[15]孟庆任.秦岭晚古生代沉积作用:盆地发展和构造演化[D].西北大学(西安)博士学位论文,1994.

[16]薛春纪,刘淑文,王涛,等.南秦岭下古生界铅锌矿床成矿环境[A].见:刘建明主编.矿床学理论与实践[C].北京:科学出版社,2004.58-67.

[17]刘淑文,薛春纪,李强,等.秦岭旬阳盆地下古生界钠长石岩岩石学和地球化学特征[J].中国地质,2005,32(3):424-433.

[18]Bostrom K. Genesis of ferromanganese deposits-diagnostic criteria for recent and old deposits[A]. In:Rona P A ed. Hydrothermal processes at seafloors spreading centers[C]. New York: Plenum Press,1983.473-483.

[19]朱华平,张德全.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,2004,19(2):76-86.

[20]郑三忠.陕西旬阳古盆地铅锌矿床地质及地球化学特征[D].西安地质学院硕士论文,1996.

[21]刘丛强,黄智龙,李和平,等.地幔流体及其成矿作用[J].地学前缘,2001,8(4):231-243.

[22]Hoefs J. Stable isotope geochemistry (4th edition)[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 110-201.

[23]郑永飞,徐宝龙,周根陶.矿物稳定同位素地球化学研究[J].地学前缘,2000,7(2):299-320.

[24]张本仁,高山,张宏飞,等.秦岭造山带地球化学[M].北京:科学出版社,2002.38-41.

[25]邱家骧,等.秦巴碱性岩[M].北京:地质出版社,1993.44-56.