

陕西铅硐山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征

方维萱

摘要 陕西凤县铅硐山大型铅锌矿床赋存于中泥盆统吉维特晚期之上的热水沉积岩相中,其微相可划分为热水沉积岩相、热水沉积-交代岩相、热水同生沉积岩相及后期改造的热水沉积岩相。其岩石中高 SiO_2 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 As 、 Sb 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Ag 、 B 、 Ba 等元素,是由富 Fe^{2+} 、 Si^{4+} 的 Ca^{2+} - Mg^{2+} - K^+ - HCO_3^- - Cl^- 型成矿流体、富 Si^{4+} 的 Ca^{2+} - Mg^{2+} - SO_4^{2-} - Cl^- (CO_2 - CO - H_2O)型成矿流体及高盐度的海水三者相互混合,而引发的同生沉积-交代作用所形成。成矿热流体大规模运移的机理是泥盆纪秦岭微板块在深部向华北板块俯冲挤压,使流体向上运移,浅表拉伸形成盆地,而使沿同生断裂上升的成矿流体迁移到三级盆地中,从而形成了热水沉积岩相。不同流体混合及酸性、氧化-还原性的骤变是造成矿质大量沉淀的机理,三级热水盆地及矿层上覆砂炭泥质岩层是矿层良好的赋存空间和保存条件。

关键词 热水沉积岩相 三级盆地 流体混合成矿 成矿流体

作者简介 方维萱 男 36岁 高级工程师 博士生 区域构造专业

Characteristics of Sedimentary Facies of Hydrothermal for Qiantongshan Giant Lead-zinc Ore Deposit,Feng County,Shanxi Province

Fang Weixuan

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract

Qiantongshan giant lead-zinc ore deposit, Feng County, Shanxi Province occurs at Middle Devonian sedimentary facies formed by hot fluid.

With higher contents of SiO_2 , FeO , CaO , MgO , MnO , As , Sb , Cu , Pb , Zn , Ag , B and Ba , five sedimentary-metasomatic, syngenetic-sedimentary subfacies formed by hot fluid and sedimentary subfacies of hot fluid imposed by epigenetic hot fluid. These subfacies were formed by syngenetic sedimentation and metasomatism which were produced by mixing of Ca^{2+} - Mg^{2+} - K^+ - HCO_3^- - Cl^- type of ore forming fluid with higher contents of Fe^{2+} and Si^{4+} , Ca^{2+} - Mg^{2+} - SO_4^{2-} - Cl^- (CO_2 - CO - H_2O) type of ore-forming fluid with higher contents of Si^{4+} and sea water with higher salinity. Migration mechanism of ore-forming fluid at large-scale were possible caused by the compression produced by the Qinling subplate subducting into the Huabei plate deeply. Ore-forming fluid migrated up along syngenetic fault and moved into basins which were caused by the extension of Earth Crust at surface. So sedimentary facies of hot fluid occurred.

Key words sedimentary facies hot fluid basin mixing ore forming fluid

1 地质概况

凤县铅硐山大型铅锌矿床位于铅硐山-双石铺铅锌(金)矿带东部,赋矿层位是中泥盆统古道岭组碳酸盐岩建造与星红铺组碎屑岩建造之间发育的一套热水沉积建造。矿床受背斜构造控制明显,矿体位于“M”型背斜的两翼及倾伏端,古道岭组与星红铺组之间发育的高角度逆冲推覆断层控制着矿体的分布,矿区内未见岩浆活动。矿体呈层状、似层状、透镜状,受控于“M”型背斜构造。#、#矿体在剖

面上呈马鞍形，#矿体位于铅硐山复背斜北翼，长1300 m，-1#矿体位于铅硐山背斜南翼，长1100 m。矿石矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿，次之为毒砂、黄铜矿、黝铜矿、软锰矿、菱锌矿、白铅矿、褐铁矿、异极矿，罕见的有纤锌矿、铅黄、密佗僧矿、铜蓝、孔雀石。脉石矿物有方解石、铁白云石、铁方解石、石英及少量的伊利石、绢云母、石墨、绿泥石、蒙脱石和有机碳等。围岩蚀变主要有硅化、碳酸盐化、铁白云石化。

2 热水沉积岩相地质地球化学特征

2.1 热水沉积岩相岩石组成

主要岩石类型有硅质岩、硅质灰岩、硅质白云质灰岩、硅质铁白云岩、炭质灰岩和炭质泥灰岩。为中泥盆世吉维特晚期沉积(中泥盆统古道岭组之上)。

主要矿物有石英、铁白云石、铁方解石和方解石等，其次为绢云母、炭质、泥质，其它少量矿物有黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、电气石、钠长石等。矿物颗粒微细，粒径0.01~0.05 mm，各种矿物分布十分均匀，彼此间呈镶嵌共生关系，微晶等粒镶嵌构造，显示同生沉积特征。

2.2 热水沉积岩相微相特征

根据热水沉积岩的成因、特征、岩石化学、地球化学等特点，笔者划分了四种热水沉积微相：热水沉积岩微相、热水沉积-交代岩微相、热水同生沉积岩微相及受后期改造热水沉积岩微相。

热水沉积岩微相 由灰黑色硅质岩组成，分布于角砾状硅质岩顶部，二者为过渡关系，岩石呈块状，致密坚硬。石英含量可达90%，呈他形粒状、柱状，粒径0.03~0.15 mm，粒间呈齿状镶嵌，包有许多炭质尘点，含炭质1%~2%。绢云母小于1.5%，是热水沉积作用的产物。

热水沉积-交代岩微相 由角砾状硅质铁白云岩及角砾状硅质岩组成。角砾状硅质岩在铅硐山#矿体中可见到，是主要容矿岩之一，角砾成分有硅质岩、灰岩等，呈棱角状、次棱角状，未经磨圆与分选。大小为0.2~10 cm，硅质岩角砾中有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿，胶结物以硅质、硫化物为主。局部胶结物中含炭质2%~3%，呈粉尘状浸染于微晶石英中。泥质1%~3%，形成微晶鳞片状绢云母，碳酸盐矿物0.0%~5.0%，是早期硅质岩在形成后，沿同生断裂上升的后期成矿流体活动形成水热爆炸而角砾化，并被成矿流体形成的硅质和硫化物所胶结。硅质铁白云岩，块状-不规则状构造，中-细粒微晶结构、交织结构、交代残余结构等。石英60%~90%，常呈菱面体的方解石假象，其颗粒内常包有尖点状方解石残余，呈他形粒状、板条状及脉状集合体，明显表现为交代碳酸盐矿物而产生，强烈地段可变为微晶石英岩。铁白云石多为半自形-他形粒状集合体，菱铁矿为粒状集合体，中细粒结构，多在0.5~0.1 mm，铁白云石经常被菱铁矿包裹。铁白云石、菱铁矿集中地段形成铁白云岩。微晶石英岩-硅质铁白云岩是由富Fe、Mg、Si的成矿流体同生沉积交代作用所形成，是主要含矿岩石之一，硫化物呈块状、浸染状、条带状、脉状产于其中。

热水同生沉积岩微相 矿体上盘围岩中，有铁白云质千枚岩、炭质千枚岩分布，其含矿地段之上必有这种岩石组合，而且岩性厚度大；无矿地段，铁白云质千枚岩厚度变小，甚至岩相变为钙质千枚岩或含绿泥石千枚岩。具有十分特殊地球化学特征的铁白云质千枚岩、炭质千枚岩中，在陆源碎屑的正常沉积时，局部明显有海底热水喷流沉积的物质混入，笔者把这种岩石组合中Cr、V、Ti、Ni、As、Sb、Au、B富集时，称为热水同生沉积岩微相。

热水沉积岩相带的下伏生物灰岩、生物碎屑灰岩属生物礁相区^[1]，是碳酸盐台地边缘正常生物-化学沉积所形成。热水沉积岩相带的上覆铁白云质千枚岩、炭质千枚岩及炭质千枚岩夹薄层灰岩是半深海盆地内细碎沉积物，但沉积环境具有典型代表性，可定于炭质-铁白云质千枚岩相。

2.3 热水沉积微相地球化学特征

热水沉积岩微相 与世界其他地区硅质岩相比较^[2]，本区的硅质岩石中低SiO₂、而高CaO、CO₂，而生物化学沉积型硅质岩中CaO也偏高，反映在本区硅质岩形成过程中，随着富SiO₂热流体进入热水沉积盆地，海水与富SiO₂热流体相混合，在SiO₂沉淀过程中有CaCO₂参与了同生沉积，而含矿硅质岩中MnO、Al₂O₃含量介于日本野田玉川海底热泉成因硅质岩和生物化学沉积型硅质岩中MnO、Al₂O₃含量之间也是佐证(见表1, 2)。

热水沉积—交代岩微相 SiO₂、FeO、MnO、CaO、MgO、CO₂、S、Pb、Zn含量高，从微晶石英交代铁碳酸盐矿物的现象看，铁碳酸

盐矿物(含FeO、MnO、CaO、MgO、CO₂)是由富Fe、Mg、Mn的热流体在沉积过程中有海水中CaO、CO₂混合参与沉淀,而富SiO₂热流体对其沉淀物发生交代作用,这种岩相是由两种热流体与海水混合所形成。流体混合后因化学平衡失稳、物化条件改变,而发生物质的骤沉,由于FeO过剩,局部菱铁矿化发育,与其他地区硅质岩化学成分差异甚大。部分热流体向下伏的含生物碎屑碳酸盐(软泥)岩下渗,发生了SiO₂、Al₂O₃、FeO、Fe₂O₃、MgO的交代作用,造成了上述化合物含量升高,而CaO、CO₂含量降低。

富矿段受后期改造过程中(印支期)富SiO₂热流体的交代,使Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MnO、CaO、MgO、CO₂含量降低,发育硫化物-石英脉,造成了S、Pb、Zn的再次富集。

热水同生沉积岩微相 铁白云质千枚岩中高TiO₂、Al₂O₃、FeO、K₂O,但贫S,由于成矿环境相对偏氧化,使成矿元素发生了分散成晕作用,富集Ba、Pb、Zn、As、Sb、Ni、Cr、V、Au、Hg等, B 100 × 10⁻⁶ ~ 1 000 × 10⁻⁶,局部有电气石化, Pb 120 × 10⁻⁶ ~ 216 × 10⁻⁶, Zn 185 × 10⁻⁶ ~ 374 × 10⁻⁶, Ba 500 × 10⁻⁶ ~ 1 600 × 10⁻⁶,局部有重晶石化, As 24.6 × 10⁻⁶ ~ 720.0 × 10⁻⁶,局部有毒砂、黄铁矿, Sb 3.6 × 10⁻⁶ ~ 15.6 × 10⁻⁶, Ni 33 × 10⁻⁶ ~ 49 × 10⁻⁶, Ti 2 830 × 10⁻⁶ ~ 7 000 × 10⁻⁶,局部有金红石产出, Cr 120 × 10⁻⁶ ~ 419 × 10⁻⁶, Au 3.0 × 10⁻⁹ ~ 11.0 × 10⁻⁹。反映在碎屑岩沉积过程中,有海底热水喷流参与了同生沉积, Ba、As、Sb、B是海底热水活动的指示元素。含矿炭质千枚岩是滞流封闭热水盆地在还原环境中形成的C、Si、Al、S、Pb、Zn的热水同生沉积。

随着热水活动的减弱,而海水中CaCO₃的沉积作用再次增强;炭质-铁白云质千枚岩相中CaO、CO₂含量明显升高, K₂O、Al₂O₃反映了陆源碎屑物质的沉积比例增加。

3 热水沉积岩相的构造背景分析

3.1 区域构造背景及动力学

秦岭造山带在志留纪末-泥盆纪初古地理格局发生重大改革。勉略洋打开分离出秦岭微板块,在区域构造扩张背景下,由于伸展作用从泥盆纪开始发育裂隙式地垒-地堑、复杂组合的构造格局^[3]。秦岭泥盆纪海域就是在这种特定的造山带动力学背景下,秦岭微板块深部向华北板块俯冲而引发的地壳浅部拉伸,热水沉积岩形成于这种次稳定的环境中。

表1 铅硐山矿床热水沉积岩相的岩石化学特征

Table 1 Petrochemistry characteristics of hot fluid sedimentation facies from Qiantongshan ore deposit

沉积岩相	岩类	样号	化学成分(%)														
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	S	Cu	Pb	Zn
炭质-铁白云质千枚岩相	炭质千枚岩	B22	30.7	0.43	11.28	0.68	2.89	0.07	24.76	2.67	2.21	0.67	23.50	0.22	0.003	0.01	0.01
	夹薄层灰岩																
	炭质千枚岩	B12	31.59	0.43	11.35	1.10	3.38	0.06	23.92	1.77	3.01	0.33	22.60	0.62	0.002	0.03	0.062
	炭质千枚岩	B-16	40.50	0.51	14.38	0.81	4.38	0.07	15.79	2.35	3.20	0.52	17.01	0.39	0.003	0.032	0.074
热水同生沉积微相	铁白云质千枚岩	B-21	36.20	0.60	13.81	0.95	3.61	0.17	19.81	1.43	2.79	0.72	18.36	0.47	0.003	0.05	0.019
	含矿炭质千枚岩	B-13	62.79	0.28	7.42	0.42	3.84	0.12	3.89	0.99	1.87	0.22	6.57	3.64	0.010	2.87	5.47
热水沉积岩微相	铁白云质千枚岩	B-20	45.94	1.15	25.24	0.74	5.24	0.09	2.73	1.85	5.58	0.93	4.99	0.10	0.003	0.012	0.062
	硅质岩含矿	E-4	71.58	0.08	1.99	0.64	1.42	0.08	12.04	0.69	0.60	0.07	10.67	0.22	0.001	0.042	0.092
	硅质岩	E-5	69.74	0.05	0.86	1.13	3.03	0.13	3.66	0.80	0.31	0.02	5.44	0.41	0.004	1.58	7.25

朝鲜检德	海底热泉 成因硅质岩		93.63	0.107	0.58	0.16	0.86	0.04	2.25	1.28	0.20	0.16		0.04	0.05	王集磊等 人 ^[2]
日本野田玉川	海底热泉 成因硅质岩	8	92.31	0.109	2.89	0.48	0.94	0.25	0.47	0.95	0.45	0.33	1.96	0.02	0.03	
塔斯马尼亚锡矿	海底热泉 燧石岩	2	78.76	0.59	10.10	2.78	未分析	0.02	0.76	1.50	2.03	0.23		0.03		
广西大厂	硅质岩	21	91.06	0.09	1.97	0.74	1.07	0.123	1.25	0.20	0.55	0.27	1.45	0.02	0.03	
	火山沉积凝 灰质硅质岩	4	79.91	0.50	5.85	0.97	2.10	0.11	2.82	1.15	1.05	1.81	2.16	0.05	0.08	
前苏联 麦维母河	生物化学沉 积型硅质岩	8	87.97	0.016	0.84	1.59	0.32	0.30	5.07	0.256	0.16	0.18	0.20	0.06	0.06	
铅硐山	硅质岩	1	71.58	0.08	1.99	0.64	1.42	0.08	12.04	0.69	0.60	0.07	2.22	0.18	0.20	
	含矿硅质岩	1	69.74	0.05	0.86	1.13	3.03	0.13	3.66	0.80	0.63	0.02	2.68	0.06	0.11	
	硅质铁白云岩	3	30.85	0.04	0.85	1.48	16.2	0.60	8.66	2.72	0.22	0.03	10.97	0.37	0.90	
	交代硅质岩	1	63.11	0.08	2.31	0.60	3.92	0.17	10.53	2.51	0.72	0.03	6.53	0.21	0.27	

在铅硐山东，发育硅质铁白云岩，是富SiO₂、MgO、Fe成矿体沿其上升迁移的地球化学证据。

在青崖沟西沟一带，北东向同生断裂与近东西的山阳-凤镇-礼泉县同生断裂交汇，在星红铺组上岩段发育炭质千枚岩-角砾状白云质钠长岩，角砾(35%)和胶结物(65%)的矿物成分基本一致，但晶粒大小差别甚大。角砾由0.05 mm ± 钠长石微晶粒组成，半自形-他形粒状，占角砾的90%，次为白云石，含量8%，自形菱面体细晶，含1%的黄铁矿。胶结物由钠长石、白云石及方解石组成，钠长石0.05 ~ 0.3 mm，半自形—他形粒状，含量55%，白云石呈他形粒状，约含25%，方解石半自形-他形不规则粒状，黄铁矿自形细晶，约1.5%，均匀分布于胶结物中，副矿物有锆石、磷灰石。角砾岩层与上、下炭质千枚岩有连续接触，角砾岩层是深部富Na₂O、TFe、MgO、CO₂的流体隐爆所形成，Na₂O对上、下炭质千枚岩有明显的交代作用，致使Na₂O明显升高，炭质千枚岩反映沉积环境为非补偿性局限洼地。

3.4 同沉积背斜与三级热水盆地

热水盆地中发育同沉积背斜是主要的赋矿构造。这些同沉积背斜是一个对称、宽缓长轴背斜，其长轴方向与热水盆地的延伸方向一致。初始是由生物活动与生长、死亡后形成生物礁灰岩，由于产有Stringocephalus-Dcsquatia-Thzmnopora生物组合而被认为属中泥盆世吉维特期。这种三级盆地中的局部水下隆起两侧构成了不甚畅通的环境，为含矿热流体的沉淀成矿提供了良好的空间和矿质聚集的场所。

4 热水沉积岩相形成的地球化学环境

4.1 热水盆地的氧化-还原性质

Fe²⁺/Fe³⁺、S、有机碳等指标可有助于判断热水盆地的氧化-还原性质。在热水活动之前，生物礁灰岩相已处于弱还原的状态，Fe²⁺/Fe³⁺=2.12 ~ 3.14，S 0.11% ~ 0.30%，有机碳0.13%，生物灰岩近矿层而还原性略有增强，但与成矿时环境相比较，仍是氧化程度较大的环境。在含矿热流体进入热水盆地后，增强了其还原性质，有机碳0.19%，S 0.22% ~ 0.41%。热水沉积-交代岩相形成时，还原性骤增，已进入强烈

还原的状态, Fe^{2+}/Fe^{3+} 7.26 ~ 12.22, S 1.54% ~ 4.51%, 有机碳0.19%, 这种骤变造成了硫化物大量沉淀, 并且在热水沉积-交代微岩相中, Fe^{2+}/Fe^{3+} 分别为7.26、13.86、39.58, 说明 SiO_2 交代作用是强还原中偏氧化, 而铁白云岩中的Fe、Mg交代作用是强还原中最强还原环境, 说明第二次富 SiO_2 、FeO-MgO及海水中富 $CaCO_3$ 三种流体混合后处于强还原环境中, 并且有强烈的变化。热水同生沉积微岩相形成时与成矿环境的还原性基本一致, 但流体中明显产生了S源不足, 而使成矿元素分散成晕, 在半封闭环境中, 铁白云质千枚岩中形成金的矿源层, 只是在封闭环境下, 形成了含矿炭质千枚岩。炭质-铁白云质千枚岩相中, 盆地的水体已急骤变向氧化程度增强的中等还原环境, 虽然有一定的S源补给, 但已不在有硫化物大量沉淀的条件和足够的金属源供给, 有机碳只有0.09%。

表3 热水沉积岩相地球化学特征
Table 3 Geochemical characteristics of hot fluid sedimentation facies

沉积岩相	岩类	$\frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}}$	S%
炭质-铁白云质岩相	炭质千枚岩夹薄层灰岩	4.72	0.22
	炭质千枚岩	4.62	0.51
	铁白云质千枚岩	4.22	0.47
热水同生沉积微相	含矿炭质千枚岩	10.16	3.64
	铁白云质千枚岩	7.87	0.10
热水沉积微相	硅质岩	2.47	0.22
	含矿硅质岩	2.98	0.41
热水沉积-交代微相	硅质铁白云岩	12.22	4.51
	硅质岩	7.26	1.54
生物礁灰岩相	生物灰岩	3.14	0.30
	生物碎屑灰岩	2.12	0.11

4.2 热水盆地水体的古盐度特征

粘土质岩中的B含量常被用作盐度相的标志, Walker等提出了计算粘土质岩中伊利石的B含量作为海水古盐度的标志。伊利石中的B含量(校正B含量)的计算公式为〔4〕:

$$\text{校正B含量} = \text{岩石中B含量} \times 8.5 / \text{岩石中}K_2O\%。$$

利用上述计算了热水盆地边部和中心的校正B含量〔5〕, 铅硐山东位于热水盆地的边部, 校正B含量(n=8) 162×10^{-6} , 古海水中含盐度低, 中心部位(银硐梁-手搬崖矿带)校正B含量 286×10^{-6} , 反映古海水中含盐度较高, 而正常盐度的海湾的沉积物伊利石B含量为 $205 \times 10^{-6} \sim 216 \times 10^{-6}$ 。

由热水同生沉积形成的铁白云质千枚岩中 K_2O 可达5.58%, 明显高于正常沉积的铁白云质千枚岩, 显示了有富 K^+ 的热卤水参与沉积(见表1)。

5 热水同生沉积成矿作用

5.1 成矿流体的来源

从表4可见铅同位素地质年龄明显分成三个年龄阶段, 400 ~ 600 Ma, 反映了成矿物质来自泥盆系基底古生界: 360 ~ 390 Ma与泥盆纪时代相当; 180 ~ 268 Ma反映了受印支期构造作用富集。铅同位素源区特征值 μ 、 σ 、 ρ 值计算结果说明主要来自高铀的地壳, 并有造

山带的铅源混入, 闪锌矿包裹体水中 $D\text{‰SMOW}$ 为 $-39\text{‰} \sim -57\text{‰}$, $^{18}\text{O}\text{‰SMOW}$ 为 $-0.8\text{‰} \sim -2.9\text{‰}$, 接近变质水区, 而位于变质水与海水之间, 说明具有混合源的特征。凤太地区5件硅同位素采自铅硐山矿床、银母寺矿床含矿硅质岩。其中3件热水喷流沉积形成的贫矿石 ^{30}Si ($-0.5 \sim 0.2\text{‰}$)与现代温泉硅华沉淀物 $^{30}\text{Si}\text{‰}$ ($-0.6 \sim 0.09\text{‰}$)和深海放射虫硅质岩 ^{30}Si ($-0.6 \sim -0.1\text{‰}$)组成基本一致, 接近现代海底“黑烟窗”硅质沉淀物 ^{30}Si ($-3.0 \sim -0.4\text{‰}$)上限, 2件具脉状构造的富矿石 $^{30}\text{Si}\text{‰}$ ($-0.2 \sim -0.1\text{‰}$), 接近本区印支-燕山期花岗岩岩脉的 $^{30}\text{Si}\text{‰}$ ($-0.1 \sim +0.1\text{‰}$)组成, 暗示了热水沉积成矿-动热改造富化的多因复成特点^[7]。沿生物化石边缘分布交代生物化石的黄铁矿 ^{34}S 为 $+34.1\text{‰}$, 显示了硫来源于海水, 方铅矿, 闪锌矿、黄铜矿的硫同位素变化于 $-1.0\text{‰} \sim +12.4\text{‰}$, 反映了海底热液的特点, 毒砂-黄铁矿化体(沿北东向断裂分布)中黄铁矿 ^{34}S 为 0.00‰ , 毒砂 ^{34}S 为 $+0.9\text{‰}$, 显示了深源硫的特点。

综上所述: 成矿流体的物源具有多来源的特点, 来源于泥盆系基底地层的具变质特点的成矿流体与海水混合, 印支期叠加了深源物质的成矿。

5.2 成矿流体的成分

从表5可见白云石, 方解石的包裹体成分属 $\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}-\text{K}^{+}-\text{HCO}_3^{-}-\text{Cl}^{-}$ 型, 而闪锌矿的包裹体成分属 $\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}-\text{Na}^{+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^{-}(\text{CO}_2-\text{CO}-\text{H}_2\text{O})$ 型, 这与成矿流体活动的热水沉积岩反映出两类流体的特点相一致。后期改造的成矿流体成分属 $\text{Na}^{+}-\text{K}^{+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^{-}(\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2)$ 型, 综合热水沉积岩相的地球化学特征, 热水同生沉积成矿流体三类:

表4 铅硐山铅锌矿床铅同位素组成表
Table 4 Lead isotope composition and Doe model age in Qiantongshan

样 品	^{204}Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	μ		Doe模式 年龄	资料 来源
Q025-2	1.376	18.0830	15.5683	37.9996	9.44		394	据祁思敬 李英 ^[6]
Q072	1.376	18.0247	15.5671	38.0992	9.44		402	
Q191-2	1.365	18.5479	15.6766	38.0104	9.59		158	
Q262-2	1.369	18.1227	16.6516	38.2717	9.59		431	
Q511-2	1.370	17.9782	15.5534	37.9848	9.42		419	
Q526-2	1.372	18.0695	15.6251	38.1918	9.55		438	
Q615-5	1.372	18.0695	15.6251	38.1918	9.55		438	
Q620-2	1.370	18.0798	15.6458	38.2565	9.59		454	
Q724-5	1.360	18.0934	15.6595	38.2927	9.61		451	
905方		17.550	15.114	37.771		0.58474	184	据西北 有色717 总队 ^[7]
XJ-1		18.076	15.630	38.199		0.65851	439	
XJ-4		18.035	15.538	38.074		0.60598	413	
XJ-5-2		18.050	15.603	38.140		0.60723	426	
ZK805		18.1345	15.7044	38.4933		0.61290	500	
ZK605		18.1328	15.7023	38.4757		0.61278	500	
ZK1001		18.1823	15.7684	38.7216		0.61681	522	
ZK5203		18.1899	15.7750	38.6732		0.61703	525	

903闪		17.770	15.245	38.928		0.58502	187	
------	--	--------	--------	--------	--	---------	-----	--

表5 铅硐山矿床中矿物包裹体成分表

Table 5 Composition feature of mineral inclusion from Qiantong shan ore deposit

测定矿物	样品数	包裹体成分/ $\times 10^{-6}$												
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	H ₂ O
石英	2	530	< 10	< 10	55	15	300	< 380	< 120	196				
白云石	1	1540	630	20750	4130	60	1300	< 380	28980	391				
方解石	2	2460	250	26630	5730	100	2510	< 380	38290	298				
闪锌矿	5	625	3136	9987	3342	488	3419	11094		特高	28702	242	4127	228980

资料来源：李徽^{〔8〕}，王集磊等^{〔2〕}

富Fe²⁺、Si⁴⁺的Ca²⁺-Mg²⁺-K⁺-HCO₃⁻-Cl⁻型成矿流体；

富Si⁴⁺的Ca²⁺-Mg²⁺-SO₄²⁻-Cl⁻(CO₂-CO-H₂O)型成矿流体；

高盐度的海水。

上述混合的成矿流体中富Cu、Pb、Zn、As、Au、Ag、Hg、Mn、B、F、Ba等元素。

5.3 成矿流体的物理化学性状

热水同生沉积成矿时，流体的pH变化于3.53~4.60，平均4.02，Eh变化于-0.251~-0.212，平均值-0.232。logf_{O₂}变化于-39.364~-35.384，logf_{O₂}为-12.998。说明矿质沉淀时成矿流体处于酸性、还原状态。后期改造过程中，成矿流体的氧化程度增高，这与受改造的热水沉积岩相Fe²⁺+Fe³⁺反映的特点一致。热水同生沉积成矿时，流体的盐度为9.5~10.0 NaCl(wt%)^{〔5〕}。

5.4 流体大规模运移的机理及通道

在泥盆纪，凤太沉积盆地形成于秦岭微板块深部向华北板块俯冲时期，部分融熔的地壳产生热膨胀，在斜向挤压体制下通过热传导向地壳浅部发生热流传输，使泥盆系下伏基底地层中物质活化，形成具有变质流体的特点。地壳浅部伸展作用使岩石圈减薄，在伸展体制下形成了热水沉积盆地，从而造成了成矿流体大规模运移。沿同生断裂上升(地壳浅压带)运移到三级盆地中，从而形成了热水沉积盆地及热水沉积岩相。

5.5 矿质大规模聚集沉淀的机理

三级盆地为矿质大规模聚集提供了良好的空间，不同成矿流体的混合改变了物化条件及剧烈的化学反应，成矿环境因化学反应而反复变化造成了矿质大规模聚集沉淀。矿层上覆的岩相反映其形成后三级盆地仍在沉降，成为封闭体系，良好的保存了已沉淀的矿质。印支期的褶皱造山作用使盆地发生抬升，而水平挤压而形成褶皱，造成空间的缩小，在背斜的鞍部产生虚脱空间，使已形成的矿层进一步富化，并叠加了又一次的流体成矿改造富集。

作者单位：西北大学地质系 西安 710069

参考文献

- 1 杨锦源，陈三喜.秦岭凤太矿田层控铅锌矿床的岩相古地理环境.沉积学报，1985，3(1)：54~63
- 2 王集磊，何伯墀，李健中等编著.中国秦岭型铅锌矿床.北京：地质出版社1966.200~203

- 3 张国伟,周鼎武,于在平等.秦岭造山带岩石圈组成、结构和演化特征.秦岭造山带学术讨论会论文选集,西安:西北大学出版社,1991.121~138
- 4 何起祥.沉积岩和沉积矿床.北京:地质出版社,1978.316~322
- 5 张本仁,骆庭川,高山等.秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究.武汉:中国地质大学出版社,1994.284~298
- 6 祁思敬,李英著.秦岭泥盆系铅锌成矿带.北京:地质出版社,1993.166~178
- 7 王相,唐芝杨,季实等编著.秦岭造山与金属成矿.北京:冶金工业出版社,1996.204~226
- 8 李徽.凤县铅碛山矿床硫化物标型特征及其成因探讨.地质与勘探,1986,12(12):36~41

收稿日期:1997-11-18 收修稿日期:1998-04-01

陕西铅硐山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征

作者: [方维萱](#), [Fang Weixuan](#)
 作者单位: [西北大学地质系, 西安, 710069](#)
 刊名: [沉积学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
 英文刊名: [ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA](#)
 年, 卷(期): 1999, 17(1)
 被引用次数: 28次

参考文献(8条)

1. [杨锦源;陈三喜](#) [秦岭风太矿田层控铅锌矿床的岩相古地理环境](#) 1985(01)
2. [王集磊;何伯墀;李健中](#) [中国秦岭型铅锌矿床](#) 1966
3. [张国伟;周鼎武;于在平](#) [秦岭造山带岩石圈组成、结构和演化特征](#) 1991
4. [何起祥](#) [沉积岩和沉积矿床](#) 1978
5. [张本仁;骆庭川;高山](#) [秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究](#) 1994
6. [祁思敬;李英](#) [秦岭泥盆系铅锌成矿带](#) 1993
7. [王相;唐芝杨;季实](#) [秦岭造山与金属成矿](#) 1996
8. [李徽](#) [凤县铅硐山矿床硫化物标型特征及其成因探讨](#) 1986(12)

本文读者也读过(10条)

1. [方维萱](#), [胡瑞忠](#), [FANG Wei-xuan](#), [HU Rui-zhong](#) [秦岭造山带大型-超大型矿床密集区构造定位与勘查新思路—热水沉积成矿盆地分析与研究方法之三](#)[期刊论文]-[西北地质科学](#) 2000, 21(1)
2. [方维萱](#), [张国伟](#), [胡瑞忠](#), [刘方杰](#), [FANG Wei-xuan](#), [ZHANG Guo-wei](#), [HU Rui-zhong](#), [LIU Fang-jie](#) [秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应用研究及实例](#)[期刊论文]-[沉积学报](#)2001, 19(1)
3. [胡瑞忠](#), [方维萱](#), [HU Rui-zhong](#), [FANG Wei-xuan](#) [秦岭造山带泥盆纪三级构造热水沉积成矿盆地主控因素——大型—超大型矿床集中区研究\(I\)](#)[期刊论文]-[大地构造与成矿学](#) 2001, 25(1)
4. [郇兆典](#), [GAO Zhao-dian](#) [海相热水沉积矿床问题探讨](#)[期刊论文]-[广西地质](#)2000, 13(2)
5. [金友渔](#) [热水沉积过程混沌序列弱信号的提取](#)[期刊论文]-[地球科学-中国地质大学学报](#)2001, 26(2)
6. [熊永柱](#), [林丽](#), [朱利东](#), [夏斌](#), [朱弟成](#), [庞艳春](#), [付修根](#), [XIONG Yong-zhu](#), [LIN Li](#), [ZHU Li-dong](#), [XIA Bin](#), [ZHU Di-cheng](#), [PANG Yan-chun](#), [FU Xiu-gen](#) [应用生物标志物参数定量判识热水沉积古环境](#)[期刊论文]-[海洋地质与第四纪地质](#)2006, 26(1)
7. [方维萱](#), [芦继英](#), [FANG Wei-xuan](#), [LU Ji-ying](#) [陕西银硐子—大西沟菱铁很多金属矿床热水沉积岩相特征及成因](#)[期刊论文]-[沉积学报](#)2000, 18(3)
8. [薛春纪](#), [祁思敬](#), [郑明华](#), [刘建明](#), [XUE Chun-ji](#), [QI Si-jing](#), [ZHENG Ming-hua](#), [LIU Jian-ming](#) [热水沉积研究及相关科学问题](#)[期刊论文]-[矿物岩石地球化学通报](#)2000, 19(3)
9. [孙省利](#), [高兆奎](#), [魏晓辉](#), [曾允孚](#) [西成铅锌成矿带泥盆系硅质岩地质地球化学特征与热水沉积成矿](#)[期刊论文]-[西北地质](#)2000, 33(2)
10. [方维萱](#), [胡瑞忠](#), [黄转莹](#), [蒋国豪](#), [FANG Wei-xuan](#), [HU Rui-zhong](#), [HUANG Zhuan-ying](#), [JIANG Guo-hao](#) [热水沉积成矿盆地的热状态及热演化分析与研究思路—热水沉积成矿盆地分析与研究之四](#)[期刊论文]-[西北地质科学](#)2000, 21(1)

引证文献(28条)

张长青

[陕西几类重要铅锌矿床的矿物微量元素和稀土元素特征](#)[期刊论文]-[矿床地质](#) 2009(4)

2. [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](#)[期刊论文]-[地质论评](#) 2007(1)
3. [方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 黄转莹](#) [凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩-硅质岩特征及成岩成矿方式](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2000(4)
4. [方维萱, 杨新雨, 柳玉龙, 郭茂华, 包昌良, 曾宝成](#) [岩相学填图技术在云南东川白锡腊铁铜矿段深部应用试验与找矿预测](#)[期刊论文]-[矿物学报](#) 2012(1)
5. [刘敬](#) [陕西凤太地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿远景预测](#)[期刊论文]-[陕西地质](#) 2013(2)
6. [李强](#) [凤-太盆地硅质岩系地球化学特征及热水成矿效应](#)[期刊论文]-[岩石矿物学杂志](#) 2009(3)
7. [高卫宏, 陈明寿](#) [陕西凤县铁炉湾铅锌矿地质特征及找矿意义](#)[期刊论文]-[西北地质](#) 2007(z1)
8. [李强, 王兵岐, 马治国, 王晓虎](#) [南秦岭凤太盆地金矿与铅锌矿的成矿模式](#)[期刊论文]-[地球科学与环境学报](#) 2007(1)
9. [FANG Weixuan, ZHANG Guowei, LU Jiying, LI Yalin](#) [Complexity and Geodynamics of Ore-accumulating Basins in the Qinling Orogenic Belt, China](#)[期刊论文]-[地质学报](#) (英文版) 2000(3)
10. [方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 陈梦熊](#) [八方山大型多金属矿床热水沉积岩相特征与矿化剂组分关系](#)[期刊论文]-[矿物学报](#) 2003(1)
11. [高卫宏, 陈二虎, 常宗东](#) [陕西八方山-银母寺铅锌矿床外围成矿条件及找矿方法探讨](#)[期刊论文]-[西北地质](#) 2007(z1)
12. [黄转莹, 路润安](#) [陕西省凤县银母寺铅锌矿床原生地球化学异常特征](#)[期刊论文]-[地质地球化学](#) 2001(3)
13. [方维萱, 张国伟, 李亚林](#) [南秦岭晚古生代伸展构造特征及意义](#)[期刊论文]-[西北大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(3)
14. [贾润幸, 郭键, 赫英, 魏合明](#) [秦岭凤太成矿区金多金属矿床成矿流体地球化学研究](#)[期刊论文]-[中国地质](#) 2004(2)
15. [方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 卢纪英, 杨耀民, 王瑞廷](#) [陕西二台子铜金矿床钠长石碳酸\(角砾\)岩类特征及形成构造背景分析](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2000(3)
16. [曾荣, 刘淑文, 薛春纪, 龚建新](#) [南秦岭古生代盆地演化中幕式流体过程及成岩成矿效应](#)[期刊论文]-[地球科学与环境学报](#) 2007(3)
17. [张海, 方维萱, 张贵山, 甘凤伟, 魏宁, 郭玉乾](#) [云南个旧卡房中三叠世安尼期变火山岩相序恢复及成矿分析](#)[期刊论文]-[中国地质](#) 2009(6)
18. [方维萱, 胡瑞忠, 张国伟, 芦纪英](#) [秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相的亚相和微相划分及特征](#)[期刊论文]-[地质与勘探](#) 2001(2)
19. [黄转莹, 路润安](#) [陕西省凤县铅铜山大型铅锌矿床原生异常分带及分带指数](#)[期刊论文]-[地质与勘探](#) 2003(3)
20. [方维萱, 黄转莹](#) [秦岭凤太及柞山沉积盆地中硼地球化学场分析及意义](#)[期刊论文]-[地质地球化学](#) 2001(3)
21. [祝新友, 邓吉牛, 王京彬, 林龙军, 樊俊昌, 孙淑秋](#) [锡铁山铅锌矿床网脉状蚀变管道相的识别与研究](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 2007(1)
22. [方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 刘方杰](#) [秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应用研究及实例](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 2001(1)
23. [于炳松, 陈建强, 李兴武, 林畅松](#) [塔里木盆地寒武统底部黑色页岩地球化学及其岩石圈演化意义](#)[期刊论文]-[中国科学D辑](#) 2002(5)
24. [李强](#) [凤-太盆地硅质岩系地球化学特征及热水成矿效应](#)[期刊论文]-[岩石矿物学杂志](#) 2009(3)
25. [李厚民, 王登红, 张长青, 陈毓川, 李立兴](#) [陕西几类重要铅锌矿床的矿物微量元素和稀土元素特征](#)[期刊论文]-[矿床地质](#) 2009(4)
26. [方维萱, 黄转莹](#) [陕西凤太晚古生代拉分盆地动力学与金——多金属成矿](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 2012(3)
27. [方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 黄转莹](#) [凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩-硅质岩特征及成岩成矿方式](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2000(4)
28. [方维萱](#) [地球化学岩相学类型及其在沉积盆地分析中应用](#)[期刊论文]-[现代地质](#) 2012(5)