

秦岭凤太成矿区金多金属矿床 成矿流体地球化学研究

贾润幸^{1,2} 郭 键³ 赫 英¹ 隗合明⁴

(1. 西北大学地质系, 陕西 西安 710069; 2. 有色金属矿产地质调查中心北京地质调查所, 北京 100814;
3. 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054; 4. 长安大学地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要:笔者以八卦庙金矿床和八方山—二里河铅锌矿床为例,对秦岭凤太成矿区内铅锌矿床与金矿床的成矿流体特征进行了对比。研究表明:本区各矿床流体包裹体中的气相成分属 $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-CO-CH}_4\text{-H}_2$ 型,但八卦庙金矿床不同成矿阶段的 CH_4 含量明显较高,而 f_{O_2} 和 f_{S_2} 值又低于铅锌矿床;液相成分中,八卦庙金矿床除 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 和 Eh 值小于铅锌矿床以外,主成矿期的 Na^+/K^+ 、 Cl^-/F^- 、pH 值均大于后者,两者的主成矿期均为中盐度,但前者明显大于后者;溶液水中的氢、氧同位素显示铅锌矿床的水源主要为地层水,而八卦庙金矿床中的水源主要是岩浆水或受岩浆加热的地层水,其与岩浆热液的成矿关系较为密切。

关键词:秦岭造山带;凤太成矿区;多金属;成矿流体地球化学;热水沉积;岩浆热液

中图分类号:P618.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2004)02-0192-07

成矿流体在成矿过程中扮演着十分重要的角色,它是汲取矿质、搬运矿质和沉淀矿质的工具和载体,随着现代测试技术和方法的不断提高以及对该领域研究的不断深入,成矿流体已被国际地学界所广泛关注^[1-6],可用来帮助解决一些大型油(气)田、金属矿床的形成机理和分布规律等问题。

凤太成矿区位于秦岭泥盆系金、银、铅锌多金属成矿带中段,是中国重要的多金属矿化集中区之一。自 20 世纪 60 年代初期以来,对本区铅锌矿床的研究较为深入^[7-14];80 年代后期,随着双王和八卦庙等金矿床的相继发现,对本区金矿床的研究又有了突破性进展^[15-24],90 年代以来,对秦岭地区整个多金属成矿带、成矿系统的研究也有了很大进展^[25-31],但多集中在热水同生沉积、后期改造富集成矿方面^[7-14],对岩浆热液成矿作用的研究相对较少,特别是涉及凤太成矿区内金矿化与铅锌(铜)矿化之间关系的研究更少。八卦庙金矿床和八方山—二里河铅锌矿床是凤太成矿区内较有代表性的矿床,显示出铅锌(铜)与金在空间上的共存关系。本文重点以上述两个矿床为例,从成矿流体地球化学方面对本区铅锌(铜)与金的关系作进一步的探讨。

1 区域地质背景

凤太成矿区大地构造位置所属秦岭微板块板内北半部的构造—裂隙沉降带(凤太一级)拉分盆地^[30]。区内出露地层以中、上泥盆统为主,其次为石炭系和白垩系。成矿区总体构造为古岔河—殷家坝大型复式向斜构造,次级褶皱发育。南北以同生深大断裂为界,北部为凤州—靖口关断裂(商丹带西段),南部为留坝断裂。凤县—凤镇—山阳(西段)及酒奠梁—镇安—板岩镇(西段)两条巨型同生断裂从凤太拉分盆地北部和南部穿过^[22],此外还发育许多次级断裂,主要构造线方向(包括主断裂方向和褶皱轴走向)呈 NW 向。凤太成矿区的构造背景对金属成矿极为有利,既有热液运移通道,又有发育的容矿构造空间。

区内东南部仅见有西坝中酸性岩体和数个小岩体,东北部则发育一系列花岗斑岩、闪长玢岩、辉绿岩和煌斑岩等岩脉。

西坝中酸性岩体测年为 148.1~213.5 Ma,形成时代为印支—燕山期,属复式岩体^[35]。本区八卦庙金矿床早期发育的北

收稿日期:2003-04-19;改回日期:2003-10-30

基金项目:国家重大基础研究规划项目(2001CB409805)资助。

作者简介:贾润幸,男,1969 年生,博士生,工程师,主要从事岩石、矿物、矿床学和地球化学方面的研究工作;E-mail:cockdog@163.com。

西向层间石英脉坪年龄为 232.58 Ma 及等时线年龄为 222.14 Ma^[23], 晚期发育的北东向石英脉坪年龄为 (131.91±0.89) Ma 及等时线年龄为 (129.45±0.35) Ma^[24], 表明八卦庙金矿床的成矿时代主要为印支—燕山期, 与西坝岩体的形成时代接近, 其成因可能与西坝中酸性岩体的多次侵入有关。

2 凤太成矿区的流体包裹体

2.1 流体包裹体的类型和特征

基本类型: 凤太成矿区内八卦庙金矿床和各铅锌矿床中流体包裹体的类型均以单液相为主, 其次为气液相, 单气相包裹体较少。各铅锌矿床闪锌矿和石英中的流体包裹体均少且小, 多小于 15 μm, 气液比一般小于 15%^[9]。而八卦庙金矿床石英中的流体包裹体一般 6~20 μm, 最大可达 50 μm, 气液比一般 10%~30%, 最大可达 80%^[9], 同时八卦庙金矿床铁白云石中的原生流体包裹体除正常的气液包裹体外, 含 NaCl 子晶的多相包裹体普遍, 并见液态 CO₂ 的多相包裹体和有机包裹体。流体包裹体一般 5~25 μm, 气液包裹体中气液比 20~30%^[25]。

流体包裹体测温: 凤太成矿区铅锌矿床中矿物流体包裹体测温结果见表 1, 均一温度在 200 °C 左右, 反映成矿温度属于中温范围。八卦庙金矿床流体包裹体均一温度见表 2, 对其作温度频率直方图(图 1)后明显出现 3 个峰值: 370~400 °C, 200~250 °C, 130~160 °C, 它们分别代表了热液的 3 个活动期, 其中 370~400 °C 代表了区域变质(低绿片岩相)阶段的温度, 以出现黑云母为特征; 200~250 °C 代表了主成矿阶段的温度, 并与绿泥石推算出的主形成温度 270~290 °C^[26] 较为接近, 以大量石英、铁白云石、黄铁矿、磁黄铁矿及自然金组合为特征; 130~160 °C 则代表了改造流体活动时形成石英—方解石脉的结晶温度。

表 1 凤太成矿区铅锌矿矿物流体包裹体测温
Table 1 Temperatures of mineral fluid inclusions for lead-zinc deposits in the Fengtai ore district

矿床	测定矿物	爆裂温度/°C		均一温度/°C	
		变化范围	平均	变化范围	平均
铅矾山	闪锌矿	250~260	255	111~211	206
	石英	270~300	285	130~279	209
银母寺	闪锌矿	315~327	322		
	石英	271~291	281		
峰崖	闪锌矿	310~360	317		
	石英			80~160	126
八方山	石英	70~305	143	196~290	258
平均	闪锌矿		298		174
	石英		236		198

成矿压力测算: 对银母寺铅锌矿床改造成矿期石英 CO₂ 包裹体的压力测定为 610×10⁵Pa^[9](成矿深度在 2.44 km, 按围岩静压力 1km 约等于 250×10⁵Pa 计算), 八卦庙金矿床按石英包裹体 CO₂ 含量、流体压力、温度关系图估计, 其成

矿时流体压力为 334.4×10⁵~506.6×10⁵Pa^[9](成矿深度在 1.34~2.02 km, 按围岩静压力 1km 约等于 250×10⁵Pa 计算)。506.6×10⁵Pa 与铅锌矿改造期的压力相当, 故代表印支早期剪切作用时的压力, 370×10⁵Pa(成矿深度在 1.48 km, 按围岩静压力 1km 约等于 250×10⁵Pa 计算)则代表了主成矿期时的压力, 铅锌矿床的成矿压力比金矿床的成矿压力要大。

综上所述, 八卦庙金矿床矿物包裹体的气液比、均一温度均大于凤太成矿区内铅锌矿中的包裹体参数; 而其成矿压力又低于后者, 这种差异说明后期岩浆热液叠加改造成矿时, 系统处于一种半开放状态。

2.2 成矿流体的气相特征

各矿床流体包裹体的气相成分(表 3)属 CO₂-N₂-CO-CH₄-H₂ 型, 其中 CO₂ 含量最高。八卦庙金矿床与本区铅锌矿床相比, 不同成矿阶段的 CH₄ 含量大多较高, 且随着成矿作用的演化, CH₄ 含量有增高的趋势。通过野外和镜下观察, 八卦庙金矿床的矿石中含有大量的细碎碳屑, 同时金矿石中靠近石英细脉的两侧颜色又明显变浅, 表明成矿过程中由于热流体对围岩的蚀变使其发生了脱碳作用。研究结果表明金的成矿过程和有机碳的存在有着密切的关系, 碳的存在代表了一种相对还原环境, 有助于 SO₄²⁻ 向 S₂⁻ 的转化, 并对多金属特别是金有吸附作用, 随着温压的变化, 部分有机碳转化为石墨, 部分则氧化分解成 CO₂、H₂ 和 CH₄ 等, 这又有利于金等多金属的释放和沉淀^[22]。

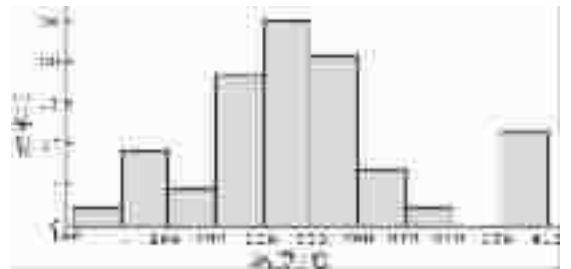


图 1 八卦庙金矿床石英液体包裹体均一温度频率直方图
Fig. 1 Frequency histogram of homogenization temperatures of quartz fluid inclusions in the Baguamiao gold deposit

八卦庙金矿床动热变质成矿期和热液成矿期的 $\lg f_{O_2}$ 平均值分别为 -39.55 和 -38.483^[18]。铅矾山铅锌矿床同生热水沉积成矿期和动热变质成矿期的 $\lg f_{O_2}$ 平均值分别为 -36.69 和 -36.70; 银母寺铅锌矿床同生热水沉积成矿期和动热变质成矿期的 $\lg f_{O_2}$ 平均值分别为 -38.266 和 -38.865^[9]。八卦庙金矿床的 f_{O_2} 值明显低于本区铅锌矿的 $\lg f_{O_2}$ 值, 同时, 在不同的成矿期, 两者的 $\lg f_{O_2}$ 值也存在差异, 铅锌矿区同生热水沉积成矿期的 f_{O_2} 值常略高于动热变质期(后期改造)的 $\lg f_{O_2}$ 值, 八卦庙矿区从动热变质期演化到岩浆热液期, $\lg f_{O_2}$ 值则呈增大趋势。研究表明, 八卦庙金矿床的 $\lg f_{S_2}$ 值也明显低于本区铅锌矿床的 $\lg f_{S_2}$ 值。铅矾山、银母寺铅锌矿床的 $\lg f_{S_2}$ 变化范围为 -13.775~-12.998^[8], 八卦庙金矿床的 $\lg f_{S_2}$ 推算为 -18~-16^[18]。

表 2 八卦庙金矿床石英液体包裹体特征及均一温度
Table 2 Characteristics and homogenization temperatures of quartz fluid inclusions in the Baguamiao gold deposit

编号	包体大小 / μm	气液比 / %	温度范围 / °C	平均温度 / °C	编号	包体大小 / μm	气液比 / %	温度范围 / °C	平均温度 / °C
1	6?30	10?25	203?331	259	21	6?15	10?30	146?291	210
2	10?13	<10?20	145?162	154	22	4?5	20?30	213?218	216
3	5?12	15?35	317?525	387	23	3?15	10?30	156?334	222
4	5?15	<10?20	153?212	190	24	7?50	10?15	143?306	204
5	3?15	15?35	176?357	294	25	4?10	10?35	170?336	247
6	4?15	<10	156?213	179	26	7?20	10?25	495?365	400
						5?12		293?165	243
7	3?12	10?35	183?342	264	27	4?15	5?30	416?320	372
						10?20	80?90	287?244	268
8	4?15	<10?30	163?367	241	28	3?17	10?30	350?200	274
9	4?15	<10?30	215?299	249	29	15?20	15?30	200	200
						3?20	5?15	409?295	395
10	4?15	<10?30	239?369	326	30	8?12	5?40	449?364	400
							80	300?199	255
11	10	<10	146	146	31	4?10	5?10	418?337	371
						10?15		296?180	254
12	4?18	10?30	242?356	306	32	2?20	<10?30	191?294	239
13	15	<5	153	153	33	5	<10	148	148
14	4?25	10?30	197?344	262	34	3?12	10±	175?242	208
							15?30		
15	6?20	10?30	150?294	230	35	2?12	10?25	177?237	208
16	5?20	10?30	217?291	265	36	3?20	<10	120?254	197
							15?20		
17	6?25	<10	184?207	200	37	2?10	10?40	177?294	246
18	4?20	10?35	233?303	268	38	2?8	10?30	171?294	233
19	5?12	15?30	223?368	291	39	2?4	10?30	203?274	238
20	3?35	10?30	135?334	227	40	2	<10	107	107

表 3 凤太成矿区不同矿床流体包裹体气相成分

Table 3 Gas phase composition of fluid inclusions for different deposits in the Fengtai ore district

矿 区	样 数	地质 产状	测试 矿物	气体分子摩尔数/mol					气体分子摩尔相对分数/%					
				CO ₂	H ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	CO	N ₂	H ₂	CH ₄	H ₂ O
铅铜山 ^①	1	围岩中方解石脉	方解石	8.873	0.729	0.099	0.316	0.047	13.520	0.482	0.151	1.110	0.072	84.663
	2	斑杂状铅锌矿石	石英	1.825	0.028	0.092	0.0385	0.0305	3.170	0.157	0.16	0.048	0.054	96.68
银母寺 ^②	1	斑杂含铁方解石	方解石	21.982	2.291	0.039	2.641	0.020	26.635	3.200	0.047	2.776	0.024	67.317
	1	斑杂状铅锌矿石	石英	1.175	0.056	0.264	0.027	0.091	2.055	0.047	0.462	0.098	0.159	97.179
	1	脉状铅锌矿石	石英	1.881	0.081	0.023	0.061	5.478	2.982	0.097	0.036	0.136	8.684	88.065
八卦庙 金矿床	3	石英脉	石英	4.36	0.1033	0.56	0.1667	1.073	11	0.467	1.4	0.467	5.00	80.00
	4	石英脉	石英	3.635	0.145	0.3175	0.185	1.51	11.5	0.55	1.25	0.475	4.25	81.25
八卦庙 金矿床	1	石英方解石脉	石英	5.57	0.28	25.61	0.39	2.8	16	1.0		0.8		74.00
	1	石英方解石脉	方解石	11.59	0.06		0.1	2.20	28	0.2		0.1		66.00

2.3 成矿流液相组成及物化特征

液相成分:由表 4 中可以看出,八卦庙金矿床主成矿期的盐度 wt%NaCleq 为 19.6%~21.2%^[29], 本区铅锌矿床的盐度 wt%NaCleq 则为 11.29%~17.57%, 两者均为中盐度,前者明显大于后者。八卦庙金矿床除 Ca²⁺/Mg²⁺值小于本区铅锌矿床以外,主成矿期的 Na⁺/K⁺、Cl⁻、F⁻值均大于后者,显示了两成矿流体上的差异。此外,八卦庙金矿床主成矿期的早、主、晚成矿阶段之间也略有差异,从早至主成矿阶段 Na⁺增加,而 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、F⁻减少,至晚成矿阶段,则 Na⁺、K⁺、Cl⁻减少而 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻增加,表明金矿化与矿石中大量的钠长石化有着密切的关系。Manning 通过实验显示,F⁻的增加可以降低

熔体中液相线的温度,扩大长石特别是钠长石的结晶域^[3]。

pH 值和 Eh 值:八卦庙金矿床主成矿期早、主、晚成矿阶段的 pH 值平均值分别为 5.98、5.32 和 6.13,相应阶段的 Eh 平均值分别为-0.65、-0.43 和-0.37^[16]。铅铜山铅锌矿床同生热水沉积期 pH 平均值和 Eh 平均值分别为 4.02 和-0.232, 动热变质成矿期(后期改造)的 pH 平均值和 Eh 平均值分别为 4.29 和-0.244;银母寺铅锌矿床同生热水沉积期 pH 平均值和 Eh 平均值分别为 4.08 和-0.267;动热变质成矿期(后期改造)的 pH 平均值和 Eh 平均值分别为 4.22 和-0.269^[19]。

八卦庙金矿床的 pH 值总体上大于区内铅锌矿床的 pH 值,而 Eh 值又低于后者,这与两者之间氧逸度值特征相一

表 4 凤太成矿区不同矿床中成矿流体包裹体液相成分 (10⁻⁶)
Table 4 Liquid phase composition of ore-forming fluids for different deposits in the Fengtai ore district

矿区	成矿期	测试矿物	样数	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Wt%NaCleg
八卦庙金矿	III ₁	石英	3	2.742	7.096	4.792	1.757	-	4.613	9.192	1.321	19.6~21.2 ^[22]
	III ₂	石英	4	1.749	7.529	1.742	1.327	-	2.455	9.50	0.457	
	III ₃	方解石	1	0.47	2.4	0	0.291	-	1.50	4.13	0.32	
	III ₃	石英	1	0.15	1.1	78.7	21.6	-	2.40	1.88	0.14	
铅铜山	I	闪锌矿	3	0.66	2.20	-	2.02	-	4.24	4.21	0.46	13.54
	II	石英	2	1.36	6.02	17.29	1.28	22.8	5.59	43.39	0.20	11.29
八方山—二里河	I	闪锌矿	3	0.41	0.65	-	0.17	-	1.93	1.76	0.27	17.54
	II	石英	4	3.01	8.48	16.90	1.18	29.1	2.25	6.85	0.29	

注: I 代表同生热水沉积期; II 代表动热变质成矿期(后期改造); III_{1,2,3} 分别代表金矿床主成矿期(热液成矿期)的早、主、晚成矿阶段。

致。另外,铅锌矿区后期改造期的 pH 值略大于同生热液沉积成矿期的 pH 值, Eh 值又略小于前者, 显示出随成矿时间的演化, 成矿环境具有向偏碱性、还原性增大的趋势。八卦庙矿区则显示出偏酸性介质条件更有利于金的析出, 从早至晚成矿阶段, 成矿环境的氧化性有增大的趋势。

3 成矿流体的氢、氧同位素

通过对八方山—二里河铅锌矿床中矿物气液包裹体内水的 H、O 同位素分析, 结合前人对八卦庙金矿床和铅铜山铅锌矿床中矿物气液包裹体内水的 H、O 同位素分析数据^[18,27], 并投影于 δD—δ¹⁸O 坐标图(图 2)上, 八卦庙金矿床的投影点主体落在原生岩浆水的范围, 部分落在大气降水线附近, 少数落于变质水理论值范围, 表明八卦庙金矿床在其成矿过程中, 由于受深部岩浆侵位的影响而形成的渗滤、对流循环热流体系统中主要以原生岩浆水或受岩浆加热的地层水为主; 八方山—二里河和铅铜山铅锌矿样品的投影点则全部位于大气降水线以下部, 岩浆水和变质水范围之外, 表明其主体为地层水(间接的大气降水—古海水), 由于在热循环过程中与灰岩发生了氧同位素的交换而发生“漂移”, 远离雨水线(在 C、O 同位素图解中, O 同位素左移变小)。

4 讨论与结论

(1) 本区八卦庙金矿床矿物包裹体的气液比、均一温度均大于区内铅锌矿床中的包裹体参数, 而其成矿压力又低于后者, 这种差异说明铅锌矿床的成矿流体来源较深, 其温度的升高主要是依靠地热梯度来完成的; 而八卦庙金矿床的成矿流体温度之所以较高可能主要与本区西坝中酸性岩浆的侵入有关。同时, 与之相伴的后期张性构造活动又使系统处于一种半开放状态。值得怀疑的是该岩体在八卦庙金矿区可能表现为隐伏岩体, 但目前尚未得到钻探工程的验证。

(2) 本区各矿床流体包裹体中的气相成分属 CO₂—N₂—CO—CH₄—H₂ 型, 其中 CO₂ 含量最高。八卦庙金矿床与铅锌矿床相比, 不同成矿阶段的 CH₄ 含量都较高, 而 f_{O₂} 值和 f_{S₂}

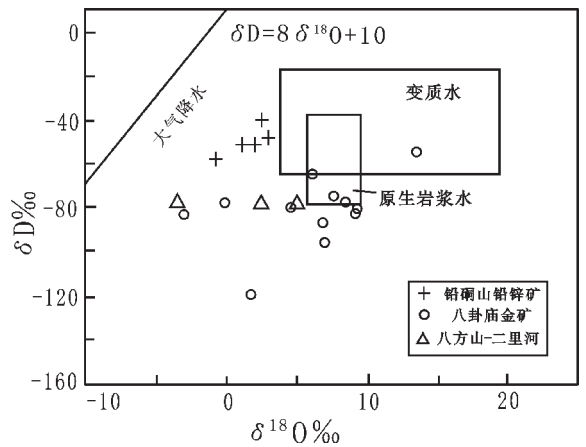


图 2 凤太成矿区不同矿床中成矿流体的 δD—δ¹⁸O 关系图^[33]

Fig. 2 δD—δ¹⁸O diagram of ore-forming fluids for different deposits in the Fengtai ore district

值又明显低于铅锌矿床, 表明八卦庙金矿床在其形成过程中处于一种相对还原的环境, 这可能与本区地层中含有大量的细碎碳屑有关。

(3) 本区各矿床流体包裹体的液相成分中, 八卦庙金矿床除 Ca²⁺/Mg²⁺ 和 Eh 值小于铅锌矿床以外, 主成矿期的 Na⁺/K⁺、Cl⁻、F⁻、pH 值均大于后者; 另外两者的主成矿期均为中盐度, 但前者明显大于后者, 且八卦庙金矿床铁白云石中含 NaCl 子晶的多相包裹体较为普遍; 溶液水中的氢、氧同位素研究表明, 八卦庙金矿床中的水源主要是岩浆水或受岩浆加热的地层水, 而八方山—二里河和铅铜山铅锌矿床中的水主要为地层水(间接的大气降水—古海水), 由于其在热循环过程中与灰岩发生了氧同位素的交换而发生“漂移”, 远离雨水线。八卦庙金矿床和区内铅锌矿床的这些差异, 显示了两者成矿流体来源上的明显不同, 铅锌矿床中的成矿流体为来源于深部的循环热卤水^[4], 而八卦庙金矿床的成矿流体受岩浆热液的影响较大。

综上所述,本区铅锌矿床的主成矿期为泥盆纪同生热水沉积期,印支期动热变质改造使其得到了进一步的富集,这一观点已得到了大家的普遍认可^[7-14];而八卦庙金矿床的主成矿期,笔者认为应该是燕山早期的岩浆热液成矿期,印支期的动热变质使其起到了预富集作用,同位素的测试年龄也说明了这一点^[15,23,24],此外方维萱等^[20]在对此区的研究中也有过类似的观点,认为该矿床的形成与本区大陆岩石圈热点(hotspot)的长期活动有关。

在论文的写作过程中,北京有色金属矿产地质调查中心的方维萱博士提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

参考文献 (Reference):

- [1] 张德会.关于成矿流体地球化学研究的几个问题[J].地质地球化学,1997,(3):49~57.
Zhang Dehui, Some new advances in Ore-forming fluid geochemistry [J]. Geology-Geochemistry, 1997,(3): 49~57 (in Chinese with English abstract).
- [2] 程小久,匡耀求.盆地成矿流体系统研究中的几个重要问题[J].华南理工大学学报(自然科学版),1996,(24)(增刊):78~82.
Cheng Xiaojiu, Kuang Yaoqi. Some important problems on the study of basin metallogenic fluid systems[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science), 1996, (24) (Suppl.): 78~82 (in Chinese with English abstract).
- [3] 贾跃明.流体成矿系统与成矿作用研究初探[J].地学前缘,1996,3(3-4):253~258.
Jia Yueming. Investigation of fluid ore-forming systems and processes [J]. Earth Science Frontiers, 1996, 3 (3~4): 253~258 (in Chinese with English abstract).
- [4] 林文蔚,殷秀兰.水岩反应中成矿流体的浓缩作用及其应用[J].矿物岩石地球化学通报,1999,18(1): 10~13.
Lin Wenwei, Yin Xiulan, Inspiassation of ore forming fluids and its applications[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1999, 18 (1): 10~13 (in Chinese with English abstract).
- [5] Manning D A C. The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1kb [J]. Contrib. Mineral.Petrol,1981,76: 206~215.
- [6] 张静,陈衍景,张复新,等.陕西金龙山卡林型金矿带成矿流体地球化学研究[J].矿床地质,2002,21(3):283~291.
Zhang Jing, Chen Yanjing, Zhang Fuxing, et al. Geochemical study of ore fluid in Jinlongshan Carlin-type gold ore in southwestern Shaanxi province[J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (3): 283~291 (in Chinese with English abstract).
- [7] 祁思敬,李英.秦岭泥盆系铅锌成矿带[M].北京:地质出版社,1991.124~178.
Qi Sijing, Li Ying. Qinling Devonian Lead-Zinc Metallogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. 124~178 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王俊发,张复新,炎金才,等.秦岭泥盆系层控金属矿床[M].西安:陕西科学技术出版社,1991.2~71.
Wang Junfa, Zhang Fuxin, Yan Jincai, et al. The Stratabound Metallic Ore Deposits in Qinling Devonian System [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Publishing House, 1991. 2~71 (in Chinese with English abstract).
- [9] 林兵.西秦岭泥盆系层控铅锌矿带成矿地球化学模式及其预测系统的建立[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.18~21.
Lin Bing. The metallogenic geochemical pattern and forecasting system for the stratabound lead-zinc ore Belt in the west Qinling Devonian [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993. 18~21 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王集磊,何伯堉,李健中,等.中国秦岭型铅锌矿床[M].北京:地质出版社,1996.195~218.
Wang Jilei, He Baichi, Li Jianzhong, et al. Qinling-type lead-zinc ore deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 195~218 (in Chinese with English abstract).
- [11] 方维萱.陕西凤县铅铜山大型铅锌矿床矿物地球化学研究[J].矿物学报,1999,19(2):198~205.
Fang Weixuan. Research on mineral geochemistry of Qiondongshan lead-zinc deposit, A large-sized deposit in Feng county, Shaanxi[J]. Acta Mineralogica Sinica,1999, 19 (2): 198~205 (in Chinese with English abstract).
- [12] 方维萱.陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J].沉积学报,1999,17(1):44~50.
Fang Weixuan. Characteristics of sedimentary facies of hydrothermal for Qiondongshan giant lead-zinc ore deposit, Feng county, Shaanxi Province[J].Acta Sedimentologic Sinica, 1999, 17 (1): 44~50 (in Chinese with English abstract).
- [13] 方维萱,刘方杰,胡瑞忠,等.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[J].岩石学报,2000,16(4):700~710.
Fang Weixuan, Liu Fangjie, Hu Ruizhong, et al. The characteristics and diagenetic metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomites from Fengtai pull-apart basin, Qinling orogen [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (4): 700~710 (in Chinese with English abstract).
- [14] 方维萱,张国伟,胡瑞忠,等.秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应应用研究及实例[J].沉积学报,2001,19(1):48~54.
Fang Weixuan, Zhang Guowei, Hu Ruizhong, et al. On implications of the Devonian hydrothermal sedimentary facies in the Qinling orogeny[J]. Acta Sedimentologic Sinica, 2001, 19 (1): 48~54 (in Chinese with English abstract).
- [15] 石准立,刘瑾璇,樊硕诚,等.陕西双王金矿床地质特征及其成因[M].西安:陕西科学技术出版社,1989.6~77.
Shi Zunli, Liu Jinxuan, Fan Shuocheng, et al. Geological Characteristics and Genesis of Shuangwang Gold Deposit in Shaanxi Province [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Publishing House, 1989. 6~77 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈丹玲.八卦庙矿床地球化学及成矿机制研究(硕士学位论文).西北大学地质系,1992,25~356.
Chen Danling. The Study of Geochemistry and Metallogenesis for Baguamiao Gold Deposit (Master's Degree Paper), Department of Geology, Northwest University, 1992, 25~356 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李文亢,方永安,石准立,等.秦岭东部微细金矿成矿条件[M].北京:地质出版社,1993.5~6.
Li Wenkang, Fang Yongan, Shi Zunli, et al. The Metallogenic Conditions of Fine Disseminated Gold Deposits in the East Qinling [M]. Beijing: Geological publishing house, 1993. 5~6 (in Chinese

- with English abstract).
- [18] 韦龙明,曹元贵,王民良.陕西八卦庙金矿地质特征及其成因分析[A].见:刘东升主编.中国卡林型(微细浸染型)金矿[C].南京:南京大学出版社,1994.286~305.
Wei Longming, Cao Yuanguai, Wang Minliang. Geological characteristics and genesis analysis of Baguamiao gold deposit in Shaanxi Province[A]. In: Liu Dongsheng (ed.). Carlin-type Gold Deposit in China[C]. Nanjing: Nanjing University Press, 1994. 286~305 (in Chinese with English abstract).
- [19] 郑作平,于学元.八卦庙超大型金矿床中铁白云石的特征兼论金矿成因[J].矿物岩石,1995,15(3):32~36.
Zheng Zuoping, Yu Xueyuan. Some characteristics of ankerite in the Baguamiao giant gold deposit with a discussion of genesis of the gold deposit[J]. Mineral. Petrol., 1995, 15 (3): 32~36 (in Chinese with English abstract).
- [20] 郑作平,陈繁荣,于学元.八卦庙金矿床的绿泥石特征及成岩成矿意义[J].矿物学报,1997,17(1):101~106.
Zheng Zuoping, Chen Fanrong, Yu Xueyuan. Characteristics of chlorite in Baguamiao gold deposit and their geological significance [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, 17 (1): 101~106. (in Chinese with English abstract).
- [21] 方维萱,黄转莹,刘方杰.八卦庙超大型金矿床构造-矿物-地球化学[J].矿物学报,2000,20(2):121~127.
Fang Weixuan, Huang Zhuanying, Liu Fangjie. Research on tectonics - mineral - geochemistry of Baguamiao superlarge gold deposit, Feng county, Shaanxi [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20 (2): 121~127 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张恩,周永章,郭健.八卦庙金矿床地质特征及找矿方向[J].地质与资源,2001,10(1):33~37.
Zhang En, Zhou Yongzhang, Guo Jian. Geological characteristics and prospecting guide of the Baguamiao gold deposit in Shaanxi province [J]. Geology and Resources, 2001, 10 (1): 33~37 (in Chinese with English abstract).
- [23] 冯建忠,邵世才,汪东波,等.陕西八卦庙金矿脆-韧性剪切带控矿特征及成矿构造动力学机制[J].中国地质,2002,29(1):59~61.
Feng Jianzhong, Shao Shicai, Wang Dongbo, et al. Baguamiao superlarge gold deposit in THE Qinling orogen: the characteristics of its control by the brittle-ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure[J]. Geology in China, 2002, 29 (1): 59~61 (in Chinese with English abstract).
- [24] 邵世才,汪东波.南秦岭三个金矿床年龄及其地质意义[J].地质学报,2001,75(1):106~110.
Shao Shicai, Wang Dongbo. Ar-Ar dating of the three typical gold deposits and its significance in the southern Qinling region[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (1): 106~110 (in Chinese with English abstract).
- [25] 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[M].武汉:中国地质大学出版社,1994.298~306.
Zhang Benren, Luo Tingchuan, Gao Shan, et al. Lithosphere Structures of Qinba area and metallogenic geochemistry [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994. 298~306 (in Chinese with English abstract).
- [26] 钟建华.陕西秦岭泥盆系区域成矿大地构造演化[J].大地构造与成矿学,21(3):189~284.
Zhong Jianhua. On the evolution of regional metallogenic geotectonics of the Devonian system in Qinling, Shaanxi Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 21 (3): 189~284 (in Chinese with English abstract).
- [27] 王相,唐荣杨,李实,等.秦岭造山与金属成矿[M].北京:冶金工业出版社,1996.187~228.
Wang Xiang, Tang Rongyang, Li Shi, et al. Qinling orogeny and metallogenesis [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996. 187~228 (in Chinese with English abstract).
- [28] 薛春纪.秦岭泥盆纪热水沉积[M].西安:西安地图出版社,1997.49~112.
Xue Cunji. Devonian hydrothermal deposition in the Qinling[M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 1997. 49~112 (in Chinese with English abstract).
- [29] 方维萱,卢纪英,张国伟.南秦岭及邻区大陆动力学成矿系统及成矿系列特征与找矿方向[J].西北地质科学,1999,20(2):1~14.
Fang Weixuan, Lu Jiying, Zhang Guowei. On metallogenic system of continental dynamics and characteristics of metallogenic series and prospecting orientation in the south Qinling and its vicinity areas[J]. Northwest Geoscience, 1999, 20 (2): 1~14. (in Chinese with English abstract).
- [30] 祁思敬,李英.南秦岭晚古生代海底喷气沉积成矿系统[J].地质前缘,1999,6(1):171~179.
Qi Sijing, Li Ying. The upper Paleozoic submarine exhalative-sedimentary metallogenic system in south Qinling[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6 (1): 171~179 (in Chinese with English abstract).
- [31] 方维萱,张国伟,胡瑞忠,等.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[J].地质与勘探,2001,37(2):50~54.
Fang Weixuan, Zhang Guowei, Hu Ruizhong, et al. On classifications and characteristics of the Devonian hydrothermal sedimentary facies in the Qinling orogen [J]. Geology and Prospecting, 2001, 37 (2): 50~54 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张贻侠,寸珪,刘连登,等.中国金矿床:进展与思考[M].北京:地质出版社,1996.34~36.
Zhang Yixia, Cun Gui, Liu Liandeng, et al. Gold Deposits in China: Advance and Think [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 34~36 (in Chinese with English abstract).
- [33] 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室.矿床地球化学[M].北京:地质出版社,1997.1~538.
Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Ore Deposit Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 1~538 (in Chinese with English abstract).

Ore fluid geochemistry of gold polymetallic deposits in the Fengtai ore district, Qinling Mountains

JIA Run-xing^{1,2}, GUO Jian³, HE Ying¹, WEI He-ming⁴

(1. Geology Department of Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Beijing Geology Survey, Mineral and Geological Exploration Centre of Non-ferrous Metals, Beijing 100814, China;

3. Institute of Geology, Northwest Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, CNNC, Xi'an 710054, China;

4. College of Earth Sciences and Land and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Take for example the Baguamiao gold deposit and Bafangshan-Erlihe lead-zinc deposit, a comparative study has been conducted of the characteristics of ore-forming fluids of gold and lead-zinc deposits in the Fengtai ore district, Qinling Mountains. Study indicates the following: the gas phase composition in fluid inclusions of all deposits in the district is of CO₂-N₂-CO-CH₄-H₂ type, but in comparison with lead-zinc deposits the CH₄ value in different mineralization stages of the Baguamiao gold deposit is notably high, while its f_{O_2} and f_{S_2} values are low; for the liquid phase composition, except the values of Ca²⁺/Mg²⁺ and Eh which are lower than those in lead-zinc deposits, the values of Na⁺/K⁺, Cl⁻, F⁻ and pH in the main metallogenic epoch of the Baguamiao gold deposit are all higher than those in lead-zinc deposits, and the ore-forming fluids in the main metallogenic epochs of both types of deposit are mesosaline but the salinity of the gold deposit is markedly higher than that of the lead-zinc deposits; δD and $\delta^{18}O$ in fluids indicate that the water in ore-forming fluids of the lead-zinc deposits is mainly connate water, while most of the water in ore-forming fluids of the Baguamiao gold deposit is magmatic water or connate water heated by magma, whose metallogenic relation is closely related to magmatic hydrothermal fluids.

Key words: Qinling orogen; Fengtai metallogenic area; polymetallic; ore fluid geochemistry; hydrothermal deposits; magmatic hydrothermal fluids