

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

凤县八卦庙特大型金矿热水沉积岩 的地质地球化学特征

韦龙明^{1,3)} 林锦富^{2,3)} 吴烈善^{4,5)}

1) 成都理工大学地球科学学院, 610059; 2) 南京大学地球科学系, 210093

3) 桂林工学院资源与环境工程系, 541004; 4) 中南大学地学与环境工程学院, 长沙, 410083

5) 广西大学化学化工学院, 南宁, 530004

内容提要 八卦庙特大型金矿的成因引人注目, 作者提出含矿地层中存在的一套条带状岩石属于热水沉积成因。此套岩石顺层产出, 主要由富石英纹层、富钠长石-石英纹层和富铁碳酸盐纹层互层, 构成纹层条带构造, 具有沉积韵律和沉积旋回; 地层走向上, 条带状岩石渐变过渡为千枚岩或板岩, 显示局部凹陷的热水沉积盆地特点; 条带岩的化学成分、微量元素特征与秦岭泥盆系铅锌矿床中的硅质-钠质-铁碳酸盐热水沉积岩非常相似, 具有热水沉积特点。热水沉积岩与金矿化空间关系密切, 说明八卦庙金矿属于热水沉积(改造)型金矿床。矿床成因类型的正确认识有利于指导区域找矿工作。

关键词 八卦庙金矿 热水沉积岩 地质地球化学 矿床成因 秦岭

陕西省凤县八卦庙金矿床发现于1989年(韦龙明等, 1994), 是产于秦岭地区(浅变质)细碎屑岩中的特大型金矿床(韦龙明等, 1996)。关于该矿床的成因类型, 目前主要有3类观点: 卡林型-类卡林型(韦龙明等, 1994; Kerrich et al., 2000; 陈衍景等, 2004); 沉积-热液改造型(韦龙明等, 1996; 王学明等, 2001); 剪切带控制的中温脉型(造山型)(钟建华等, 1997; 冯建忠等, 2002)。随着研究的深入, 某些观点也随之深化甚至改变。八卦庙金矿床的赋矿地层为上泥盆统星红铺组(图1), 容矿岩石主要为一套陆源细碎屑岩和泥质岩, 经过区域浅变质作用成为千枚岩(板岩)。

容矿岩石类型包括铁白云质绿泥石千枚岩、铁白云质粉砂质绢云母千枚岩, 斑点状铁白云质粉砂质板岩(千枚岩)及条带状岩石。容矿围岩的性质和成因也有3类观点: ① 正常沉积的碎屑岩建造, ② 含蒸发沉积的化学-碎屑沉积岩建造(陈衍景等, 2004), ③ 含热水沉积的化学-碎屑岩建造(本文)。为确定其成因, 笔者对其中的原“条带状灰岩”开展了地质地球化学研究, 发现它们的矿物组成复杂, 部分岩石属于条带状的钙-钠-硅质岩系(以下简称条带岩), 初步认为它们属热水沉积成因(韦龙明等,

1998a; 1999), 进一步研究又发现了反映局限热水盆地的相变现象(韦龙明^①)。本文将重点介绍条带岩的化学成分和微量元素特征, 并讨论其与热水沉积作用的关系。

1 热水沉积岩的地质特征

在勘探初期, 矿区的条带岩被全部划归为正常沉积的“条带状灰岩”, 并被很多学者赞同。基于此套岩石地质地球化学特征的研究, 作者(1998a)首次提出其为热水沉积成因, 当时定名为钙质钠质硅质“条带岩”。而王学明等(2001)称之为“铁白云石硅质岩”和“硅质条带千枚岩”。

条带岩在剖面上常常出现条带岩带→石英脉带(主矿体)→斑点板岩带→含碳质千枚岩带互层现象(图2), 这些岩带之间及其与含碳质绿泥石绢云母板岩之间存在渐变过渡和交叠现象, 反映了沉积作用的旋回性。其中, 斑点板岩中的斑点主要为铁碳酸盐斑点和石英-绿泥石斑点, 斑点大小0.2~0.5 mm, 含量5%~10%不等。条带岩在走向上可渐变过渡为绿泥石-绢云母千枚岩(图3), 两类岩性分界无错动破碎现象, 排除断层接触的可能, 显示局部凹陷的热水沉积盆地特征。

注: 本文为国家“九五”科技攻关项目(编号 96-914-03-04)资助的成果。

收稿日期: 2004-09-08; 改回日期: 2004-10-16; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 韦龙明, 1959年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事矿物学、岩石学和矿床学研究。电话: 0773-5891612; Email: weilm@163.net。

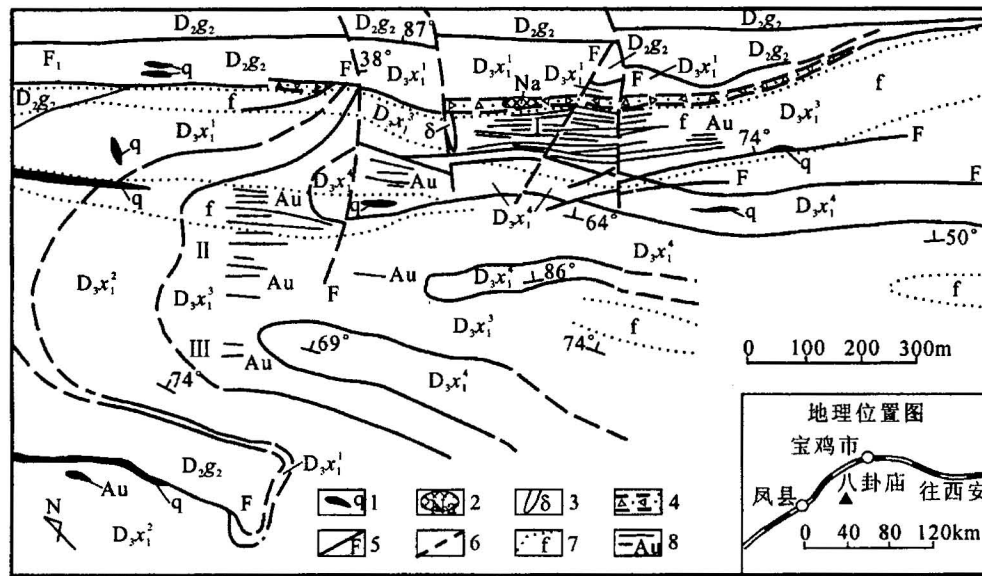


图 1 陕西凤县八卦庙金矿床地质简图(据韦龙明等,1994)

Fig. 1 Geological sketch map of the Baguamiao gold deposit, Fengxian, Shaanxi

D_2g_2 —中泥盆统古道岭组上岩段; D_3x_1 — D_3x_4 —上泥盆统星红铺组下岩段第一亚段到第四亚段; 1—石英脉; 2—钠质岩石; 3—闪长岩脉; 4—断层破碎带; 5—断裂; 6—揉皱石英脉破碎带; 7—赋矿地层; 8—金矿体; I—北矿带; II—中矿带; III—南矿带
 D_2g_2 —Upper Member of the Gudaoling Formation, Middle Devonian; D_3x_1 — D_3x_4 —the first sub-member to the fourth sub-member of the lower member of the Xinghongpu Formation, Upper Devonian; 1—quartz vein; 2—sodic rock; 3—diorite vein; 4—fault fragmentation zone; 5—fracture; 6—fragmentation zone draped quartz vein; 7—ore-bearing strata; 8—ore body; I—northern mineralization zone; II—middle mineralization zone; III—southern mineralization zone (after Wei Longming et al., 1994)

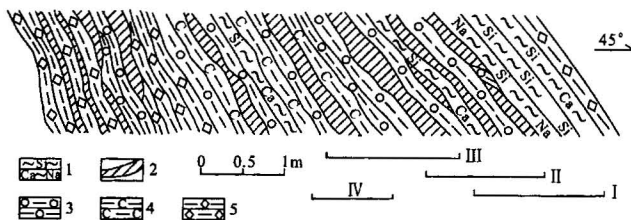


图 2 (热水沉积旋回)沉积岩带分布素描图

Fig. 2 The distribution sketch map of sedimentary stone zones or hydrothermal sedimentary circles

1—条带岩; 2—顺层石英脉; 3—斑点板岩; 4—含碳质千枚岩; 5—铁白云石绢云母千枚岩; I—条带岩带; II—石英脉带(矿体); III—斑点板岩带; IV—(含碳质)千枚岩带。地点: 八卦庙矿区1320m中段PD1坑CM67S

1—Banded rocks; 2—quartz vein parallel to stratum; 3—spotted slate; 4—carbonaceous phyllite; 5—iron-dolomite-sericite phyllite; I—banded rocks zone; II—quartz vein zone; III—spotted slate zone; IV—carbonaceous phyllite zone. Location: level 1320m PD1 CM67S, Baguamiao gold deposit

条带岩的矿物组成包括石英(30%~60%)、铁碳酸盐(20%~50%)、绢云母(5%~15%)、绿泥石(5%~10%)、钠长石(3%~10%),岩石呈细晶—微

晶结构,石英和钠长石呈不规则粒状镶嵌产出,未见陆源碎屑所具有的棱角状特征;而铁碳酸盐多呈规整的菱面体散布,晶体大小(0.05~0.5 mm)明显大于镶嵌状的石英和钠长石晶体(0.02~0.1mm)。铁碳酸盐包括铁镁方解石和铁白云石。具有纹层条

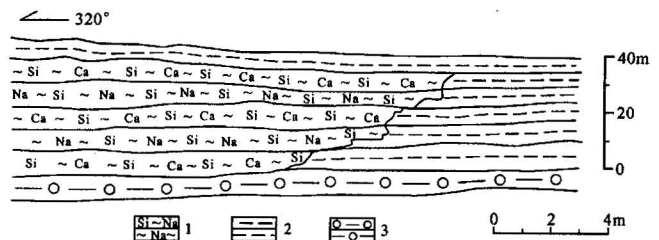


图 3 钠钙硅质条带岩与千枚岩相变关系素描图

Fig. 3 Sketch map of relation between phyllite and banded rocks bearing iron-carbonate, albite and chert

1—钠钙硅质条带岩; 2—千枚岩; 3—斑点板岩。地点: 八卦庙矿区1320m中段PD1坑CM72与CM77之间的沿脉

1—Banded rocks bearing iron-carbonate, albite and chert; 2—phyllite; 3—spotted slate. Location: Level 1320m PD1 between CM72 and CM77, Baguamiao gold deposit

表 1 陕西凤县八卦庙金矿床条带岩与钙质板岩、干枚岩 Au 含量及化学成分对比表 (%)

Table 1 Contrast of the Au contents ($\times 10^{-6}$) and chemical compositions (%) between banded rocks, calcium slate and phyllite in the Baguamiao gold deposit, Fengxian, Shaanxi

岩性	编号	Au	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	H ₂ O ⁺	总量
条带状硅质铁碳酸盐岩	八118	0.160	48.70	0.50	11.97	0.69	3.93	0.17	2.53	12.58	3.26	0.82	0.18	9.54	1.78	99.14
	八117	5.100	50.82	0.29	11.60	2.13	2.68	0.17	2.71	12.05	3.14	0.95	0.20	8.33	1.63	99.15
含钙质扁豆的粉砂质绢云母板岩	①		45.47	0.44	10.45	3.47	0.86	0.16	17.51	1.49	2.31	1.23	0.13	16.06	—	99.58
条带状铁白云石钠长石硅质岩	八92	0.060	55.40	0.54	12.03	0.86	4.09	0.18	3.01	7.51	2.34	3.01	0.24	10.24	0.74	99.45
	八91	4.500	53.86	0.54	12.95	3.80	1.98	0.19	3.31	6.86	1.77	4.48	0.23	9.08	0.65	99.05
铁白云石粉砂质千枚(板)岩	八97	0.135	54.05	0.72	14.94	1.11	4.11	0.140	3.76	5.34	4.47	0.72	0.24	7.42	1.66	99.38
	八116	0.141	59.44	0.64	13.25	2.25	3.39	0.170	3.17	4.52	3.78	1.12	0.23	14.76	1.06	100.09
	八126	0.400	58.06	0.67	18.77	1.70	5.22	0.089	3.32	1.29	5.46	0.37	0.17	4.68	2.66	99.80
	八99	1.100	60.33	0.35	12.12	1.59	3.82	0.100	2.77	5.03	3.22	1.31	0.18	8.05	1.62	99.19
	八115	10.00	59.65	0.34	12.81	3.35	2.27	0.190	3.02	4.74	3.98	0.56	0.23	12.61	1.46	99.62
	八125	14.50	57.21	0.26	9.75	2.42	3.37	0.260	3.79	7.10	2.83	1.01	0.86	10.23	1.34	99.09

注:① 由4件钙质板岩样品组合分析。样品由有色金属桂林矿产地质测试中心分析(1998)。Au 高含量($\times 10^{-6}$ 级)为石墨炉原子吸收光度法分析(仪器型号:日立 Z-8000);低含量($\times 10^{-9}$ 级)为化学光谱法分析(仪器型号:德国 PJS I 两米平面光栅摄谱仪)。K₂O、Na₂O、MnO 为火焰原子吸收光度法分析(仪器型号:日立 Z-8000);其余为化学分析。

带构造,常常出现富石英纹层(或富钠长石-石英纹层)→富铁碳酸盐纹层→泥质纹层频繁变化,纹层厚度0.1~1.2mm 不等,这种韵律代表海底热液脉动性喷流沉积特点。这些特征与柞水—山阳泥盆纪热水盆地大西沟外围的似碧玉岩、纹层似碧玉钠长石岩的岩性相似。根据以上特征,可以判断条带状钠钙硅质岩类属于热水沉积岩系。

2 热水沉积岩的地球化学特征

野外和手标本,容易把富钙的条带岩与含钙质扁豆的粉砂质绢云母板岩(简称钙质板岩,下同)相混淆,而富硅的条带岩与正常沉积的粉砂质千枚岩或板岩也不容易区分。

化学成分是区别岩石类型的重要特性之一,还可以探讨岩石的物质来源。与正常沉积的钙质板岩相比,热水沉积的富钙条带岩的 SiO₂、Al₂O₃、MgO 和 FeO 含量较高,MgO/CaO 比值较高(0.2),但 CaO 和 Fe₂O₃ 含量及 Fe₂O₃/FeO 比值(0.18)较低;虽然两类岩石的 Fe₂O₃+FeO 含量相似(表 1),但钙质板岩的 MgO/CaO 和 Fe₂O₃/FeO 比值分别为 0.09 和 4.03,这是因为富钙条

带岩的石英、铁白云石和钠长石含量较高,而钙质板岩中的扁豆体成分为较纯的方解石。与正常沉积的千枚岩或板岩相比,富硅条带岩类明显富含 FeO、CaO 和 Na₂O,而相对贫 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃,这是因为此类热水沉积岩同时也含较多的钠长石和铁(镁)方解石条纹,从而造成硅的亏损。相对而言,富硅条带岩比富钙条带岩具有更高含量的 SiO₂、Al₂O₃、MgO 和 Na₂O,MgO/CaO 比值更高(0.4),这是因为前者的石英、铁白云石和钠长石含量更高。这与岩石的矿物成分鉴定相符合。

表 2 不同成因类型硅质岩的特征化学成分比值对比表

Table 2 Contrast of characteristic chemical component ratios among different genetic type of siliceous rocks

地点	岩石类型	样品号	Fe ₂ O ₃ /FeO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /MgO	①	件数	资料来源
凤县八卦庙金矿床	条带状铁白云石	岩石 八92	0.21	4.61	18.41	10.36	1	本文表 1
	钠长石硅质岩	矿石 八91	1.92	4.16	16.27	8.62	1	
	条带状硅质铁	岩石 八118	0.18	4.07	19.25	11.94	1	
	碳酸盐岩	矿石 八117	0.79	4.38	18.75	12.43	1	
陕西太白双王金矿	钠长角砾岩金矿石		1.60	3.66	62.81	5.54	13	刘家军 ^②
	钠长板岩围岩		1.88	4.45	56.21	8.03	11	
碌曲拉尔玛金矿	硅质岩建造		0.33	21.3	792.9	560	29	
秦岭	泥盆系铅锌矿容矿硅质岩		0.17	43.9	75.7	167.9	18	
广西南丹大厂锡矿	硅质岩		0.69	46.2	455.3	111.1	21	薛春纪, 1997
陕西银洞子银矿	似碧玉岩		0.53	3.06	70.92	8.20	6	
	层纹钠长石似碧玉岩		0.69	4.78	18.36	8.25	1	
	铁白云石钠质岩石		0.31	3.66	15.42	6.31	1	
柞山热水盆地大西沟外围	钠长石角砾岩		1.51	3.85	11.79	6.94	4	③
日本野田玉川	海底热泉沉积硅质岩		0.51	7.79	52.15	17.42	2	
俄罗斯麦维姆河	火山沉积硅质岩		0.46	13.5	69.5	36	4	
俄罗斯麦维姆河	生物化学沉积硅质岩		4.4	107	346	235	8	

注:①=SiO₂/(Na₂O+K₂O)。

表 3 陕西凤县八卦庙金矿床条带岩与千枚岩的微量元素含量($\times 10^{-6}$)对比表Table 3 Contrast of the trace elements content ($\times 10^{-6}$) between banded sediment stones and phyllite in the Baguamiao gold deposit, Fengxian, Shaanxi

岩性		样号	Au	Ag	As	Sb	Bi	Sn	Cu	Pb	Zn	Mo	Be	B	Cr	V	Sr	Ba	Co	Ni	Ti	Mn
条带岩	深色围岩	八 092	0.060	0.284	33.1	1.75	3.52	12.1	61.6	8.2	74	0.68	1.70	61.3	101	75	159	336	19.1	28.7	3933	1394
		八 118	0.160	0.554	22.90	8.66	2.85	5.00	57.5	74.4	169	1.03	1.90	81.2	73	81	287	277	16.00	28.3	3521	1317
		八 133	0.300	0.280	1.80	3.04	0.35	2.60	35.0	17.5	35	0.97	2.70	79.2	75	76	369	300	16.70	31.4	4008	
		八 132	0.350	0.310	1.90	12.48	0.30	0.50	11.7	15.9	35	0.45	0.50	21.0	74	62	718	188	11.00	11.5	3010	
		平均	0.218	0.36	14.9	6.48	1.76	5.05	41.5	29.0	78	0.78	1.70	60.7	81	74	383	275	15.7	25.0	3618	1356
	褪色岩石	八 091	4.500	0.557	53.0	3.02	2.50	2.40	118	9.7	45	0.46	1.50	19.5	102	65	179	251	22.4	25.7	3986	1471
		八 117	5.100	0.557	16.4	9.01	3.31	3.80	71.1	44.3	122	1.33	2.30	26.9	94	76	316	351	17.6	25.1	3785	1317
		八 028	5.000	0.796	6.47	3.36	0.44	4.60	15.6	19.3	50	0.35	1.50	27.7	58	62	319	307	18.9	23.8	2504	824
		平均	4.867	0.64	25.3	5.13	2.08	3.60	68.2	24.4	72	0.71	1.77	24.7	85	68	271	303	19.6	24.9	3425	1204
		平均(7)	2.210	0.48	19.4	5.90	1.90	4.43	52.9	27.0	76	0.75	1.73	45.3	82	71	335	287	17.4	24.9	3535	1265
千枚岩	深色围岩	八 043	0.069	0.080	1.42	0.58	0.40	1.90	5.6	6.7	57	0.27	2.30	186	89	105	61	579	19.4	31.9	4735	269
		八 048	0.400	0.099	3.61	0.90	0.54	3.10	16.1	8.3	100	0.32	2.10	151	91	93	90	573	22.4	39.9	4566	515
		八 052	0.073	0.114	3.00	0.57	0.30	3.60	33.5	8.3	71	0.43	2.60	167	89	101	67	490	28.8	52.3	4362	497
		八 001	0.076	0.045	3.57	0.51	0.40	2.80	13.6	7.3	86	0.41	3.50	186	101	116	111	646	19.1	36.9	5614	476
		八 015	1.000	0.146	1.76	0.99	0.30	5.80	26.8	11.0	147	0.58	4.70	186	131	148	94	972	36.5	99.1	6405	262
		八 026	0.130	0.053	2.56	0.76	0.30	4.30	8.9	10.9	111	0.57	2.50	186	100	93	103	526	23.6	58.7	4673	563
		八 032	0.370	0.178	1.94	1.66	0.30	4.80	20.1	14.4	80	0.85	2.30	186	84	100	199	603	24.4	42.1	4257	1023
		八 042	0.046	0.145	1.58	0.76	0.30	3.10	32.3	13.7	30	1.28	1.00	77	47	39	243	186	14.8	27.2	2891	1276
		八 050	0.081	0.120	3.16	1.20	0.50	2.90	11.5	26.0	50	0.40	1.10	114	42	56	354	312	11.9	29.2	2606	1024
		八 053	0.100	0.127	1.74	1.40	0.30	2.50	17.9	17.8	40	0.35	1.70	149	62	57	257	315	15.7	32.3	2889	754
		八 058	0.200	0.128	2.29	2.45	0.66	4.90	19.7	11.6	123	0.66	3.60	186	115	119	114	634	32.2	61.5	5003	491
		八 064	0.140	0.161	2.03	1.04	0.30	3.70	19.7	12.5	121	0.38	2.80	186	82	97	91	532	29.4	50.5	4458	552
		八 070	0.089	0.088	10.8	1.28	0.30	2.90	21.1	12.7	110	0.59	2.50	186	86	80	142	502	20.7	40.8	4351	835
		八 097	0.135	0.097	9.70	2.21	0.86	3.70	43.5	9.9	61	0.64	1.20	226	114	85	152	474	13.5	24.6	4775	
		八 116	0.141	0.188	9.40	2.87	1.99	5.50	64.3	10.3	77	0.72	2.40	86	111	82	176	469	25.5	40.6	4141	
	八 126	0.400	0.263	5.80	8.29	0.37	4.30	27.2	17.6	150	0.39	2.90	150	102	92	77	463	21.8	51.8	4833		
	平均	0.216	0.13	4.03	1.72	0.51	3.74	23.9	12.4	88	0.55	2.45	163	90	91	146	517	22.5	45.0	4410	657	
	褪色岩石	八 004	0.400	0.065	2.16	1.25	0.30	2.60	12.2	9.7	51	0.81	1.90	45	63	62	152	282	13.1	31.4	3705	1290
		八 016	0.400	0.552	11.1	2.03	0.45	1.50	12.1	15.9	35	0.50	1.30	30	62	94	281	426	15.4	22.6	3238	738
		八 023	0.100	0.098	1.72	0.67	0.30	4.60	23.4	9.1	83	0.45	3.90	186	120	127	86	771	27.5	56.9	5577	384
八 025		1.750	0.203	4.26	0.73	0.30	6.00	38.3	13.0	60	0.53	3.30	186	104	134	142	875	25.6	59.8	5753	705	
八 055		0.600	0.529	2.36	2.65	0.30	6.40	5.6	10.2	33	0.22	5.50	45	156	171	98	1036	8.7	14.5	8278	124	
八 069		3.400	2.167	12.4	3.33	0.30	2.90	20.0	20.2	80	0.37	2.40	28	89	93	152	517	22.2	35.6	4467	920	
八 099		1.100	0.218	20.4	2.28	5.49	5.50	44.9	8.1	45	0.44	2.00	32	94	67	149	396	17.5	26.5	3533		
八 115		10.000	0.788	33.9	13.0	7.43	10.1	46.1	51.4	62	0.82	2.80	28	102	64	174	459	18.2	27.5	3805		
八 125		14.500	2.592	78.0	4.03	8.48	11.9	51.2	53.5	93	1.42	2.10	33	103	60	216	379	18.6	29.0	3206		
八 142		2.000	0.305	10.5	2.92	3.02	7.50	39.4	24.5	98	0.67	3.90	150	103	103	179	405	21.1	48.5	4547		
平均	3.425	0.75	17.7	3.29	2.64	5.90	29.3	21.6	64	0.62	2.91	76.4	100	98	163	555	18.8	35.2	4611	694		
平均(26)	1.450	0.37	9.28	2.32	1.33	4.57	26.0	15.9	79	0.58	2.63	130	94	94	152	532	21.1	41.2	4487	668		
钙质板岩		0.015	0.27	18.0	1.88	0.30		33	23	61			89.3					19.5	43.8	2457	3175	
区域丰度值		0.0033		7.80	0.56	0.306		19	11.6	47	0.73		41.9	84	62		388	12.2	29.9	3649	568	
克拉克值		0.0043	0.07	1.7	0.5	0.009	2.5	47	16	83	1.1	3.8	10	83	90	340	650	18	58	7500	1000	

注:① Mn 的样品数(平均项):条带岩为 5,千枚岩为 19;② 钙质板岩数据引自韦龙明等(1994);③ 区域丰度值来自凤县一太白金矿田,据石准立等(1989)资料(共 230 件分析数据);④ 地壳克拉克值据维氏(1962)。⑤ 数据由有色金属桂林矿产地质测试中心分析,As、Sb、Bi 为原子荧光光谱法(仪器型号:北京 AFS-120),Sr、Ba 为 X 射线荧光光谱法(仪器型号:日本 E3080);Au 高含量(10^{-6})为石墨炉原子吸收光度法(仪器型号:日立 Z-8000),低含量(10^{-9})为化学光谱法(仪器型号:德国 PJS II 两米平面光栅摄谱仪);其余微量元素为 ICP 直读光谱法分析结果(仪器型号:美国 90-950 II)。

以上成分的差异,反映它们在成因和沉积环境上的差异,说明热水沉积能够提供更多的硅质、镁质和钠质成分,富硅条带岩应该属于热水活动较强烈(早期)的产物。

统计资料(表2)显示,现代海底热泉硅质岩与火山沉积硅质岩在化学成分组成上比较相近,这是因为两者的形成环境相似,都处于构造活动地带的裂隙盆地,其物质来源由深部流体,甚至地幔流体提供,沉积受内生地质作用影响。而生物化学沉积硅质岩属于表生沉积作用,形成于稳定的浅海盆地,故与海底热泉硅质岩和火山沉积硅质岩的化学成分差异非常明显。

数据对比显示,八卦庙矿区条带状岩石及矿石的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 等特征比值(表2)均与秦岭热水沉积成因的双王金矿床(刘家军^②)、银洞子大型热水沉积银矿床和柞水—山阳热水沉积盆地的相似类型岩石(薛春纪, 1997)以及现代海底热泉硅质岩比较接近,而与火山沉积硅质岩差异相对较大,与生物化学沉积硅质岩的区别更为明显。八卦庙矿区条带状岩石及矿石的 SiO_2/MgO 比值较小(与柞水—山阳热水沉积盆地的部分岩石相近),因为两地的岩石相对富含铁白云石和钠长石,而不是纯的硅质岩。而表生的生物化学沉积硅质岩成分很纯,其 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 比值最大。以上说明,八卦庙矿区条带状岩石的形成环境与典型的海底硅质热泉沉积或火山沉积环境有所差异,其热水沉积作用具有特殊性,即硅质沉积同时,伴有较多的铁白云石和钠长石沉积。甘肃拉尔玛金矿硅质岩建造、秦岭泥盆系铅锌矿容矿硅质岩和广西南丹大厂锡矿硅质岩的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 SiO_2/MgO 和 $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 比值相对接近,部分比值甚至大于生物化学沉积硅质岩,这是因为三处的硅质岩建造虽然属于热水沉积成因,但他们同时又与生物活动关系非常密切,含矿岩中发育有生物礁灰岩或生物化石丰富。

比较八卦庙金矿区的条带岩与千枚岩的微量元素组成(表3),可以发现,无论是深色围岩还是褪色岩石(矿石),均显示条带岩类相对富含 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb 等与金矿化关系密切的成矿元素组合,以及反映热水沉积成因组分的 Mn 含量、Sr/Ba 比值和 Co/Ni 比值较高(也高于秦岭地区区域背景值和地壳克拉克值);而 Ti、Cr、V、Be、B、Co、Ni 等反映陆源碎屑沉积的组分在千枚岩中含量较高。说明八卦庙矿区的条带岩类属于海底热水沉积成因,而千

枚岩类基本属于正常陆源沉积,但也不同程度的受到热水活动的影响。

Bostrom(1983)提出海底热液沉积物与水成沉积物的元素组成在 $\text{Fe-Mn}-(\text{Co}+\text{Ni}+\text{Cu})\times 10$ 三角图解中有各自明显的集中区。热液沉积物富 Fe、Mn 而贫 Co、Ni、Cu,原因是热液沉积物堆积速率高,没有充分时间与海水作用,从而不能富集 Co、Ni、Cu 等微量元素。在 $\text{Fe-Mn}-(\text{Co}+\text{Ni}+\text{Cu})\times 10$ 三角图解中,八卦庙矿区条带岩的投影点均落在现代海底

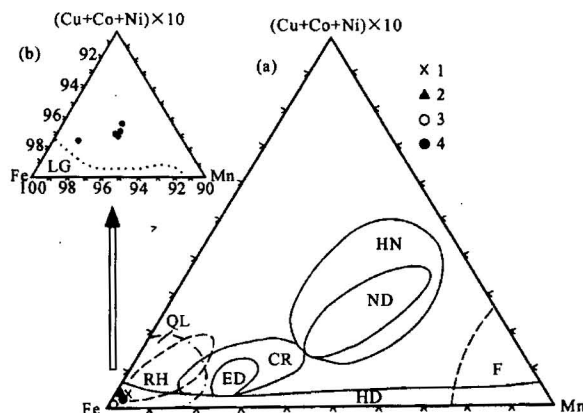


图4 不同成因沉积物(岩)的 $\text{Fe-Mn}-(\text{Co}+\text{Ni}+\text{Cu})\times 10$ 三角图解
(据 Crerar et al., 1982; 底图转引自刘家军, 1996)
Fig. 4 Distribution map of $\text{Fe-Mn}-(\text{Co}+\text{Ni}+\text{Cu})\times 10$ in vary cause of formation sediments or stones
(after Crerar et al., 1982; background figure after Liu Jiajun, 1996)

HN—正常水成沉积物区; ND—水成结核; HD—热水沉积物; CR—热水铁锰壳沉积物; ED—东太平洋中脊沉积物; RH—红海热水沉积物; F—Franciscan 热水沉积硅质岩区; LG—拉尔玛金矿热水沉积硅质岩区; QL—秦岭泥盆系铅锌矿热水沉积岩区; 1—凤太铅锌矿田热水沉积硅质岩; 2—广西大厂热水沉积的乳房状燧石; 3—广西大厂热水沉积硅质岩; 4—八卦庙金矿条带岩的平均值(图A)及单个样品的投影点(图B)
HN—Normal neptunic sediment; ND—normal neptunic nodule; HD—hydrothermal sediments; CR—hydrothermal iron-manganese carapace sediments; ED—the middle ridge sediments in eastern Pacific Ocean; RH—hydrothermal sediments in the Red Sea; F—Franciscan hydrothermal sedimentary siliceous rocks; LG—hydrothermal sedimentary siliceous rocks of the Laerma gold deposit; QL—hydrothermal sedimentary siliceous rocks of the lead-zinc deposits in Qinling area; 1—hydrothermal sedimentary siliceous rocks of the lead-zinc deposit in Fengxian—Taibai ore field; 2—hydrothermal sedimentary breast-like chert Dachang ore field, Guangxi; 3—hydrothermal sedimentary siliceous rocks of Dachang ore field, Guangxi; 4—the projective dot of the mean (a) and single sample (b) of banded rocks in the Baguamiao gold deposit

热水沉积物分布区和秦岭泥盆纪铅锌矿的热水沉积岩分布区范围内(图4),同样说明条带岩的形成与热水沉积活动有关。

综上,八卦庙矿区的条带岩和钠质岩石的地球化学特征、地质产状、岩石矿物成分、沉积结构构造等,表明由热水沉积形成,或者受到热水活动的影响(蚀变作用),具有热水沉积成因特点。

3 结语

八卦庙金矿化与热水沉积岩具有密切的空间关系和成因联系(韦龙明^①)。在矿体最厚大的67线及1320m中段,条带岩的厚度较大,富硅(钠)纹层和富铁镁的钙质纹层构造发育,说明矿化中心部位热水活动强烈。总体上,从矿床中心到矿床边部,条带岩在地层中所占比例及单层厚度均有减小的趋势,显示金矿化强度与条带岩发育程度呈正相关关系。金矿体长宽近于相等,在平面上和剖面上均呈螃蟹状(韦龙明,1998a),这可能与热水沉积洼地能够提供丰富的成矿物质并具有较高热源场有关。条带岩在走向上可渐变过渡为绿泥石-绢云母千枚岩,显示局限热水盆地的存在。在未褪色的深色围岩中,条带岩平均含Au高于斑点板岩。八卦庙金矿区局部存在以透镜体产出的纹层状钠质岩石,原先认为属于侵入成因,定名为“钠长细晶岩(脉)”(桂林矿产地质研究院等^②;韦龙明等,1994),后经研究(韦龙明^③),确定为热水沉积成因。研究(韦龙明等,1998b)显示,从矿床中心到矿床边部,各类地质样品的金含量的平均值和最大值均有从高到低的变化趋势,此类矿化特点可能与热水沉积局部提供丰富的成矿物质有关,在热水沉积阶段形成矿源层甚至贫矿体。后期构造活动对矿源层或矿胚中的金进一步富集成矿起了重要的改造作用(钟建华等,1997;冯建忠等,2002)。综上,八卦庙金矿属于热水沉积-构造改造型矿床。另据研究,甘肃西成地区泥盆系金矿床也普遍存在类似的条带状热水沉积岩,同时,该区的金矿化特点与八卦庙金矿比较相似(韦龙明等,1998c)。有理由相信,在秦岭泥盆系中,热水沉积-改造型金矿床具有广阔的找矿前景。

致谢 第一作者在成都理工大学攻读博士学位期间,承蒙郑明华教授的悉心指导;野外工作得到西北有色地勘局及717总队有关领导和地质人员的大力支持;朱桂田、曹远贵、常宗东等同志参加了部分野外工作,在此一并诚致谢忱!

注 释

- ① 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. 成都理工大学[博士学位论文]1~133.
- ② 刘家军. 1996. 论西秦岭喷流沉积硅质岩建造及其控制的金矿床. 成都理工大学[博士学位论文].
- ③ Hutchinson R M, et. al. 1988. 层控矿床在地质历史中的地位. 国外矿床地质, (3).
- ④ 桂林冶金地质研究所编译. 1974. 火山活动与成矿作用.
- ⑤ 桂林矿产地质研究院, 西北有色地质勘查局, 甘肃有色地质勘查局. 1992. 秦岭卡林型金矿成矿条件及成矿预测(科研报告).

参 考 文 献

- 陈衍景, 张静, 张复新, Franco Pirajno, 李超. 2004. 西秦岭地区卡林-类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式. 地质论评, 50: 134~152.
- 冯建忠, 邵世才, 汪东波, 王学明, 马治国. 2002. 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. 中国地质, 29: 58~66.
- 王学明, 汪东波, 邵世才, 冯建忠, 陈梦雄. 2001. 陕西八卦庙金矿钠长石的成因. 矿床地质, 20: 223~228.
- 韦龙明, 曹远贵, 王民良. 1994. 陕西八卦庙金矿床地质特征及其成因分析. 见: 刘东升主编, 中国卡林型(微细浸染型)金矿, 南京: 南京大学出版社, 286~305.
- 韦龙明, 刘鸾玲, 张选固. 1996. 陕西八卦庙金矿金的赋存状态及其可选性研究. 贵金属地质, 5(2): 81~86.
- 韦龙明, 朱桂田, 吴烈善, 曹远贵. 1998a. 八卦庙特大型金矿床热水沉积岩初探. 第六届全国矿床会议论文集, 矿床地质, 17(增刊): 271~274.
- 韦龙明, 曹远贵, 吴烈善, 朱桂田. 1998b. 八卦庙金矿床石英脉与金矿化关系再研究. 地质找矿论丛, 1998, 13(3): 9~14.
- 韦龙明, 卢汉堤, 李晓斌, 金安祥, 程或, 王爱军, 浩德成, 景立臻. 1998c. 甘肃西成地区金矿石英脉与金矿化关系研究. 有色金属矿产与勘查, 7: 216~221.
- 韦龙明. 1999. 八卦庙金矿研究新进展——热水沉积岩的确认. 地质论评, 45: 201.
- 薛春纪. 1997. 秦岭泥盆系热水沉积, 西安地图出版社, 134.
- 钟建华, 张国伟. 1997. 陕西凤县八卦庙特大型金矿的成因研究. 地质学报, 71: 150~160.

References

- Bostrom K. 1983. Genesis of Ferromagnese Deposits——Diagenetic Criteria for Recent and old Deposits. In: Hydrothermal Processes at Seafloor Cenens. New York: Plenum Press, 16~208.
- Crerar D A, et al. 1982. Manganiferous chert of the Franciscan assemblage; I. General geology ancient and modern analogues and implications for hydrothermal conversion at oceanic spreading centers. Econ. Geol., 77: 519~540.
- Chen Yanjing, Zhang Jing, Zhang Fuxin, Franco Pirajno, Li Chao. 2004. Carlin and Carlin-like gold deposits in western Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model. 50: 134~152 (in Chinese with English abstract).
- Feng Jianzhong, Shao Shicai, Wang Dongbo, Wang Xueming, Ma Zhiguo. 2002. 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. 29: 58~66 (in Chinese with English abstract).

- Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, Garwin S, Jia Y F. 2000. The Characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (Series D)*, 43(supp.): 1~68.
- Wang Xueming, Wang Dongbo, Shao Shicai, Feng Jianzhong, Chen Mengxiong. 2001. The genesis of albite in the Baguamiao gold deposit, Shaanxi province. *Mineral Deposit*, 20: 223~228 (in Chinese with English abstract).
- Wei Longming, Cao Yuanguai, Wang Minliang. 1994. Geological characteristics and genesis of the Baguamiao gold deposit, Shaanxi. In: Liu Dongsheng, ed. *The Carlin-type (Fine-grain Disseminated) Gold Deposits in China*. Nanjing University Press, 286~305 (in Chinese).
- Wei Longming, Liu Luanling, Zhang Xuangu. 1996. Study on the gold occurrence state and the selection in Baguamiao gold deposit. *Journal of Precious Metallic Geology*, 5(2): 81~86 (in Chinese with English abstract).
- Wei longming, Zhu Guitian, Wu Lieshan, Cao Yuanguai. 1998a. Primarily study the thermal water sedimentary stone on Baguamiao gold deposit, Shaanxi, China. *Mineral Deposits*, 12 (supp.): 271~274 (in Chinese with English abstract).
- Wei longming, Zhu Guitian, Wu Lieshan, Cao Yuanguai. 1998b. Restudying on the relationship between quartz vein and gold mineralization in Baguamiao gold deposit. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 13(3): 9~14 (in Chinese with English abstract).
- Wei Longming, Lu Hanti, Li Xiaobing, Jin Anxiang, Cheng Yi, Wang Aijun, Hao Decheng, Jing Lizheng. 1998c. The relation between quartz vein and gold mineralization in the Xihe-Chengxian area, Gansu. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 7: 216~221 (in Chinese with English abstract).
- Wei longming. 1999. New progresses in the study of Baguamiao gold deposit-Confirmation of hydrthermal sedimentary rocks. *Geological Review*, 45: 201 (in Chinese).
- Wei longming. 2003. *Metallogenic Environment and Prediction for Baguamiao Gold Deposit Type in Fengxian-Taibai, Qinling Region, China*. The thesis for doctor's degree in Chengdu University of Technology.
- Xue Chunji. 1997. *Hydrothermal Sediment of Devonian Period in Qinling*. Xi'an Cartographic Publishing House, 134 (in Chinese with English contents).
- Zhong Jianhua, Zhang Guowei. 1997. On the genesis of the super-large Baguamiao gold deposit in Fengxian county, Shaanxi province. *Acta Geologica Sinica*, 71: 150~160 (in Chinese with English abstract).

Geological and Geochemical Characteristics of the Hydrothermal Sediments in the Baguamiao Gold Deposit

WEI Longming^{1,3}, LIN Jinfu^{2,3}, WU Lieshan^{4,5}

1) *Geoscience College, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059*

2) *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093*

3) *Department of Resource and Environment Engineering, Guilin University of Technology, 541004*

4) *Department of Geology and Environmental Engineering of Central South University, Changsha, 410083*

5) *School of Chemistry and Chemical Engineering of Guangxi University, Nanning, 530004*

Abstract

The genesis of the Baguamiao gold deposit is noticeable. The author suggests that the banded rocks in the ore beds are of hydrothermal origin. This series of rocks occur along the strata, consisting mainly of interbeds of quartz-rich laminae, albite-quartz laminae and iron-rich carbonate laminae, which form a banded structure with sedimentary rhythms and sedimentary cycles. The banded rocks have gradually changed into phyllite or slate, which show characteristics of a hydrothermal sediment basin locally depressed. The chemical composition and microelement characteristics of the banded rocks are similar to those of siliceous, sodic and iron-carbonaceous hydrothermal sedimentary rocks in the Devonian lead-zinc deposits in the Qinling region. The hydrothermal sedimentary rocks are closely related to gold mineralization in space, which indicates that the Baguamiao gold deposit belongs to the hot water sedimentation (transformation) type. A correct understanding of the genetic type of the deposit is most helpful for ore prospecting in the region.

Key words: Baguamiao gold deposit; hydrothermal sedimentary rock; geochemistry; ore genesis; Qinling