

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

陈衍景^{1,2)} 张 静²⁾ 张复新³⁾ Franco PIRAJNO⁴⁾ 李 超²⁾

1) 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002

2) 北京大学地质学系, 100871; 3) 西北大学地质系, 西安, 710069

4) 西澳地质调查所, 100 Plain Street, Perth, WA 6004, 澳大利亚

内容提要 秦岭造山带是世界第二大卡林—类卡林型金矿省,其地质背景与美国西部卡林—类卡林型金矿省明显不同,位于大陆内部的碰撞造山带,而非活动大陆边缘的盆岭省。秦岭卡林—类卡林型金矿主要赋存于板块缝合带及其前陆冲断带的海西—印支构造层中,以泥盆系和三叠系为主,主要岩性为潟湖—浅海相的含碳细碎屑岩—碳酸盐岩建造,即碳硅泥岩系;成矿元素为 Au—As—Sb—Hg—Ag,缺乏 Tl,共生矿种为 Sb, Hg, Ag, U 和重晶石等;成矿温度为 160~300℃,流体盐度为 4%~10% (NaCl_{eq}),压力为 5~50 MPa,深度约 0.5~5 km,属于中低温中浅成热液矿床,与内华达卡林—类卡林型金矿一致。成矿流体具有建造水特点, C₂H₆ 含量较高,显示了有机流体参与成矿。成矿同位素年龄介于 220~100 Ma 之间,以 170 Ma 为高峰。地球动力学背景属碰撞造山过程挤压—伸展转变期的减压增温体制,成矿构造模式为碰撞造山成岩成矿和流体作用模式。陆陆碰撞过程中,沿龙门山、阿坝—黑水—平青、若尔盖—文县、玛曲—勉县—略阳、白龙江、双河—公馆、凤县—镇安、安康等大型断裂带的陆内俯冲作用不仅导致了西秦岭地壳缩短增厚隆升,而且使俯冲板片变质脱水、熔融,派生成矿流体和相关熔体,流体和熔体的上升到仰冲板片次级构造带,形成了卡林—类卡林型和造山型金矿成矿系统。据此提出,西秦岭深部可能存在潜力巨大的造山型金矿省。

关键词 卡林—类卡林型金矿床 西秦岭造山带 挤压向伸展转变期 成矿时间 成矿模式

自从美国内华达州盆岭省发现卡林金矿床以来,对卡林型金矿的研究已有40年,但它能否成为一种独立的金矿类型,如何界定其含义,仍在激烈争论(Kerrich et al., 2000; Hofstra et al., 2000; Muntean, 2003)。Radtke 等(1970)认识到卡林金矿热液过程中碳质对金沉淀富集的重要意义,其后提出“卡林型金矿”属于“浸染状的交代作用形成的热液金矿床”(Radtke et al., 1980)。Boyle(1979)将卡林型金矿称为“化学上有利于成矿的沉积岩层中的浸染状矿床”,并称之为远源夕卡岩型矿床。Bagby 等(1985)曾提出卡林型金矿实属于浅成低温热液矿床的认识。Bache(1987)认为其是含碳酸盐地层的沉积岩系中的浸染状交代型后生金矿床。陈衍景等(1992)认为卡林型金矿是产于含碳酸盐地层的沉积

岩系的中低温浅成断控系列的微细粒浸染状金矿床。为了便于研究这类矿床的特征和成矿规律,胡受奚(1988)创用“类卡林型”一词用于描述东秦岭地区的祁子堂金矿。Li 等(1998)使用类卡林型金矿的概念对比了中美两国的该类矿床,将西秦岭地区的八卦庙、双王等金矿均归为类卡林型。刘东生等(1994)则初步总结了卡林型金矿的成矿规律,很多与美国卡林型金矿具有较大差别的矿床也被作为卡林型金矿。Kerrich 等(2000)使用“类卡林型”一词涵盖包括卡林金矿带在内的类似矿床,秦岭地区的大水、拉尔玛、东北寨、煎茶岭等矿床被归为类卡林型; Kerrich 等(2000)还将卡林—类卡林型列为6种最重要岩金矿床类型之一,中国陕甘川和滇黔桂被作为代表性成矿省。与此同时, Hofstra 等(2000)列举了

注:本文为中国科学院百人计划、教育部跨世纪人才培养计划、国家攀登预研(编号 95-Pre-39-04)和国家自然科学基金项目(编号 49972035)的成果。

收稿日期:2002-10-29;改回日期:2003-11-12;责任编辑:章雨旭。

作者简介:陈衍景,男,1962年生。分别于1984年、1987年和1990年于南京大学地质学系获学士、硕士和博士学位。1990年—1992年和1992年—1995年分别在中国科学院地球化学研究所和北京大学作博士后研究。现为中科院地球化学研究所百人计划研究员,博导;教育部优秀跨世纪人才;北京大学地质学系副教授(1999年起受聘于教授岗位)。主要从事矿床地质和前寒武纪地球演化与成矿等研究。
Email: yjchen@pku.edu.cn。

卡林型与沉积喷流型(Sedex)、低硫浅成低温热液型、类卡林型(距同成矿期岩浆活动较远的浸染型金矿床)的主要特征,认为卡林型金矿不同于后者,可以区分。张复新等(2000,2001)和张静等(2002)提出了金龙岗—丘岭等西秦岭卡林型金矿成矿构造背景与造山型金矿的一致性。最近,Muntean(2003)系统阐述了卡林型与类卡林型金矿在矿床特征和成矿作用方面的差异和联系。由上可见,卡林型—类卡林型金矿的内涵及其与其他类型金矿的差异、联系,成矿省的特征和区域性成矿模式等,尚需大量实例验证和进一步研究厘定。

20世纪80年代以来,在扬子地块西南缘和西北缘发现了大批卡林型金矿床和地质地球化学特征类似的金矿床,构成了西南(滇—黔—桂)和西北(陕—甘—川)两个金三角,使中国成为仅次于美国的世界第二大富集卡林型及其类似金矿的国家。最近,阳山超大型金矿的发现(齐金忠等,2003a,2003b)更显示了西秦岭地区这类矿床的找矿前景和研究必要。西秦岭地区的金矿床与美国的卡林—类卡林型金矿存在很多共同点,但也有显著差异。例如,中国卡林型

金矿分布在大陆内部的造山带,而美国则分布于大陆边缘地区。正是西秦岭卡林型金矿的重要意义及其与美国卡林型金矿省的差异,使得西秦岭金矿的研究倍受国内外学者重视,导致关于西秦岭金矿类型、成矿背景、成矿模式的认识不一致(刘东升等,1994;张复新,2001;张复新等,1997,2000;韦龙明等,1997;邵世才等,2001;Li et al.,1998;Kerrick et al.,2000),需要深入探讨。

基于对西秦岭地区的野外调查和前人研究成果,参照 Muntean(2003)、Hofstra 和 Cline(2000)和 Kerrich et al. (2000)提出的卡林型、类卡林型及其与其他金矿类型的区分标志,笔者等总结了西秦岭50多个金矿床的基本地质特征(图1、表1),编制了西秦岭地区卡林—类卡林型金矿分布简图,归纳出一系列规律性特征,初步确定了成矿空间、时间、地球动力学背景,发现了与美国卡林—类卡林型金矿的一些差别,因此建立了西秦岭卡林—类卡林型金矿成矿模式,提出和讨论了一些相关新问题。

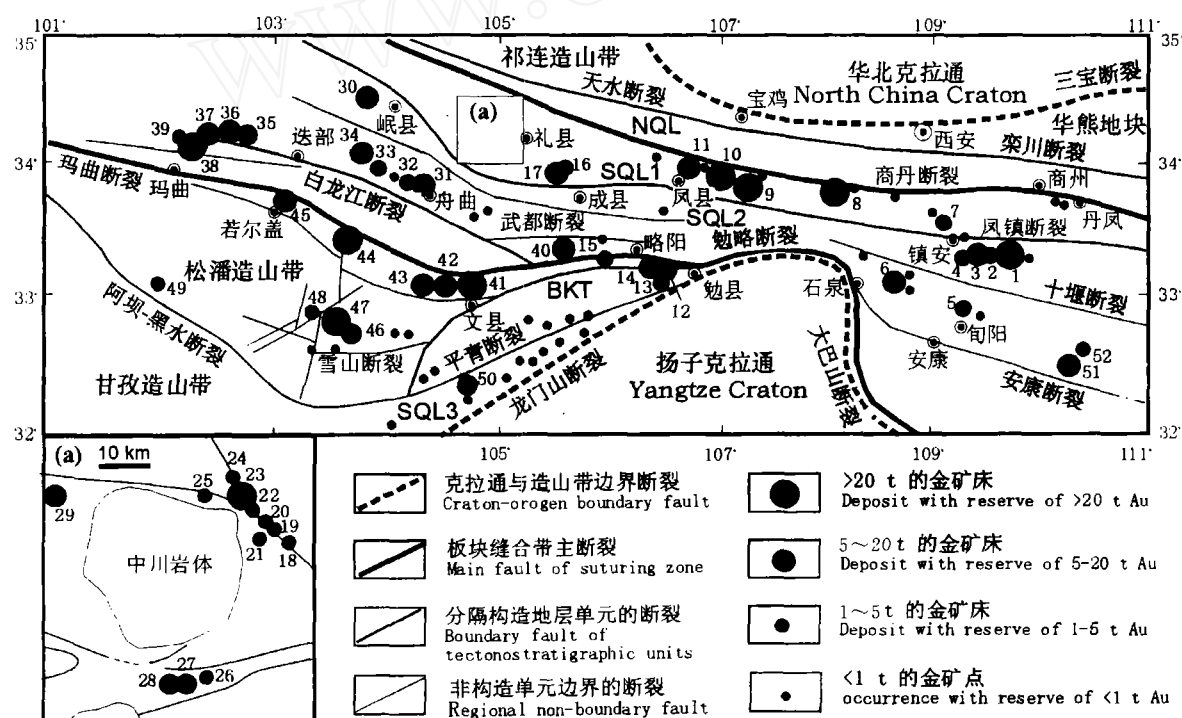


图1 西秦岭地区卡林一类卡林型金矿床空间分布略图

Fig. 1 Schematic map showing the tectonics and distribution of Carlin and Carlin-like gold deposits in West Qinling Mountains

图中矿床编号和地质说明见表1,华熊地块的金矿床未表示,构造纲要据张国伟等(1996)划分方案修编

Numbers of deposits and geological characteristics in the figure seen those in table 1

Gold deposits in the Huaxiong Block are not shown. Tectonic framework mainly after Zhang Guowei et al. (1996)

表 1 西秦岭地区卡林型—类卡林型金矿床的地质特征
Table 1 Geological characteristics of the Carlin type and Carlin-like type gold deposits in Western Qinling Mountains

矿床	地区	储量 (t)	品位 (g/t)	规模	类型	构造位置和/或控矿构造	赋矿地层/容矿建造	含矿围岩时代	岩浆岩及时代	成矿时代	资料来源
1 金龙山	镇安	>20		大	卡林型	EW 向米粮山—安家门逆断层北侧上盘	南羊山组细碎屑岩—碳酸盐岩	泥盆纪	不发育	绢云母钨矿 233±7 Ma; 似碧玉岩钨矿 60.5 Ma	张复新等, 2000; 张静等, 2002
2 腰岔	镇安			小	卡林型	同上	同上	同上	不发育	印支—燕山期	张复新等, 2000
3 丘岭	镇安			中	卡林型	同上	同上	同上	不发育	印支—燕山期	张复新等, 2000
4 古楼山	镇安			小	卡林型	同上	同上	同上	不发育	印支—燕山期	张复新等, 2000
5 淋湖	旬阳			小	卡林型	受断裂构造控制	碳酸盐岩和粉砂质千枚岩、千枚岩	泥盆纪	不发育	燕山期 107~173(Ma)	邹海洋等, 2000
6 黄龙	汉阴	5	5	中	卡林型	安康断裂北侧推覆体上盘	浅变质碳硅泥岩系	志留纪	不发育	燕山期	①: 张复新等, 2001
7 二台子	镇安	1.6	7.9	小	类卡林	镇坪盆地, 凤镇断裂北侧	碳酸盐岩—碎屑岩—钠长角砾岩	中泥盆世	煌斑岩等岩脉(钾钒: 198±2 Ma; 199±1 Ma)	燕山期	李超, 2001
8 马鞍桥	周至	>20	5.4	大	类卡林/造山型	商丹断裂带南缘的韧性剪切带	斑点状板岩—碳酸盐岩	中泥盆世	矿前香沟花岗岩长斑岩(石英钨矿: 200 Ma)	燕山期	李福东等, 2001
9 双王	太白	>50	?	大	类卡林	王家湾断裂北侧上盘, 修石崖逆断层层北侧	浅变质泥质岩—碳酸盐岩—蒸发岩	泥盆纪	偶见煌斑岩脉(钾钒: 167.0±1.3 Ma)	黄铁矿钨矿: 183±21 Ma, 168±16 Ma	樊硕斌等, 1994; ②
10 八卦庙	凤县	>50	5~80	大	类卡林	商丹断裂以南, 凤镇断裂北侧的剪切带	斑点状构造板岩夹英闪岩	泥盆纪	局部有矿前钠长细晶岩脉和闪长岩脉	钨矿: 129 Ma (1), 132±1 Ma (P)	韦龙明等, 1994; 邵世才等, 2001
11 庞家河	凤县	8	6	中	类卡林	商丹断裂西端南侧	(凝灰质)细碎屑岩夹薄层碳酸盐岩	中泥盆世	不发育	中生代	张复新等, 2001
12 煎茶岭	略阳	10	5	中	类卡林	碧口地体北缘, 何家岩背斜倾伏端	细碧角斑岩基底, 碎屑岩—碳酸盐岩盖层	震旦纪		中生代	①: 张复新等, 2001
13 李家沟	勉县	1	8.8	小	卡林型	碧口地体南缘, 平武—青川断裂北侧上盘	硅质碳酸盐岩	震旦纪		中生代	王平安等, 1998
14 东沟坝	略阳	6.3	3.4	中	类卡林	碧口地体北缘, 麻柳铺倒转复背斜北翼	安山质火山碎屑岩	震旦纪		中生代	邱柱国等, 1993
15 锦厂沟	略阳	4.1	4.3	小	类卡林	碧口地体北缘, 略勉断裂南约 4km	变质火山岩—碎屑岩—碳酸盐岩建造	泥盆纪	泥盆纪火山凝灰岩, 变质细碧岩等	水铬云母钾矿: 144±15 Ma	王可勇, 2000; 张复新, 2001; 魏刚峰等, 2000
16 小沟里	西成			小	卡林型	吴家山背斜西部倾伏端附近	细碎屑岩—碳酸盐岩建造	中泥盆世		石英钨矿: 197±1 Ma (P), 193±1 Ma (1)	邵世才等, 2001
17 安家岔	西和	8.7	5.5	中	卡林型	吴家山背斜西部倾伏端附近	细碎屑岩—碳酸盐岩建造	中泥盆世		燕山期	①: 王平安等, 1998
18 崖湾里	礼县			小	类卡林	礼县—锁龙口断裂	细碎屑岩	泥盆纪	花岗斑岩脉	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
19 岗沟里	礼县			小	类卡林	礼县—锁龙口断裂	细碎屑岩	早泥盆世	花岗斑岩脉	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
20 楼底下	礼县			小	类卡林	礼县—锁龙口断裂	碳酸盐岩, 细碎屑岩	早泥盆世	多类岩脉	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
21 柯寨	礼县			小	类卡林	礼县—锁龙口断裂西	细碎屑岩	早泥盆世	花岗斑岩脉、煌斑岩脉	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994

续表 1

矿床	地区	储量 (t)	品位 (g/t)	规模	类型	构造位置和/或控矿构造	赋矿地层/容矿建造	含矿围岩时代	岩体及时代	成矿时代	资料来源
22 罗坝	礼县	3.3	2.7	小	类卡林	礼县—锁龙口断裂南	细碎屑岩,碎屑岩	泥盆纪	多类岩脉	燕山期,同李坝矿床	①
23 李坝	礼县	28	4~5	大	类卡林	礼县—锁龙口断裂NW向分支断裂西侧	浅变质细碎屑岩	中泥盆世	黑云母花岗岩黑云母钾 氢: 196, 188~229, 184 ~199, 177~218, 179 Ma; 花岗岩脉单轴石 氢: 166.5 Ma, 煌斑岩 脉轴: 142Ma	包囊体轴部等时线: 172 ±26Ma, 177±27 Ma; 矿石铅模式年龄: 173. 6Ma, 184Ma; 石英脉氢 氢: 210.6±1.3 Ma, 等 时: 205.0±3.5 Ma	黄杰等, 2000; 王平安等, 1998; 柳森, 1994; 王 相, 1996; 冯建忠等, 2003.
24 三人沟	礼县			小	类卡林	礼县—锁龙口断裂	细碎屑岩—碳酸盐岩	早泥盆世		燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
25 郑沟里	礼县			小	类卡林	礼县—锁龙口断裂南部	细碎屑岩—碳酸盐岩	早泥盆世	花岗闪长岩脉	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
26 庙山	礼县			小	类卡林	礼县—垭子坝断裂带	细碎屑岩—碳酸盐岩	早泥盆世	煌斑岩脉、花岗斑岩脉	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
27 马泉	礼县	7.5	5.6	中	类卡林	礼县—垭子坝断裂带	细碎屑岩—碳酸盐岩	早石炭世	多种脉岩	包囊体轴部: 171~153 Ma	柳森, 1994; 马建伟等, 1997
28 金山	礼县			中	类卡林	礼县—垭子坝断裂带	细碎屑岩—碳酸盐岩	早泥盆世	多种脉岩	燕山期, 同李坝矿床	柳森, 1994
29 明珠山	岷县	6	3	中	类卡林	礼县—锁龙口断裂南部	细碎屑岩—碳酸盐岩	早泥盆世	中川岩体西北	燕山期, 同李坝矿床	①; 柳森, 1994
30 鹿儿坝	岷县			大	卡林型	近EW向压扭性断裂	细碎屑岩—碳酸盐岩	中三叠世	少量酸性岩脉	燕山期	司国强等, 2001
31 坪定	舟曲	5	11.5	中	卡林型	白龙江冲断带北东侧上 盘九源—坪定向斜	细碎屑岩—碳酸盐岩	中泥盆世	矿前脉岩(214Ma); 花岗 闪长岩脉(K~Ar: 164 ±5 Ma)	燕山期	林宝增等, 1994; 王平安等, 1998
32 九源	舟曲	0.6	8.5	小	卡林型	白龙江冲断带北东侧上 盘的坪定—九源向斜	细碎屑岩—碳酸盐岩	中泥盆世	矿前酸性脉岩(钾氢: 200.7Ma)	燕山期	林宝增等, 1994; 李亚东等, 1994
33 腊子口	迭部			小	卡林型	玛曲—略阳断裂带北侧 的白龙江冲断带	黑色岩建造	泥盆纪	脉岩, 花岗闪长岩(121. 3±3.6 Ma)	燕山期	柳森, 1994; 王平安等, 1998
34 察步	迭部	5	6	中	卡林型	近EW向压扭性断裂	细碎屑岩—碳酸盐岩	三叠纪		燕山期	①
35 耶莫	若尔盖	5	?	中	卡林型	玛曲断裂北, 波海—白依 断裂北	碎屑泥质岩建造	寒武纪	多种脉岩(11件钾氢年 龄: 102.3~215.5 Ma); 安山玢岩(轴部: 165±7 Ma)	包囊体轴部等时线: 227 ±67 Ma; 192±13 Ma; 169.4±10.6 Ma; 绢云 母钾氢: 242 Ma	李亚东等, 1994; 郑明 华等, 1994
36 拉尔玛	碌曲	5.1	7.3	中	类卡林	玛曲断裂北, 波海—白依 逆断带北东侧上盘	碎屑泥质岩建造	寒武纪	燕山期闪长岩脉; 英安 斑岩(钾氢: 172Ma)	轴部年龄 46~10Ma; 轴 部: 117.5 Ma; 轴部 时线: 109Ma	李亚东等, 1994; 王驹, 1994
37 忠曲	碌曲	10?	5.4~ 13.8	中	类卡林	白龙江逆冲带南缘, 西倾 山隆起带忠曲背斜	碳酸盐岩—碎屑岩	中三叠世, 二 叠纪, 侏罗纪	格尔括合燕山期花岗闪 长岩(<1 km ²)	燕山期, 不早于侏罗纪	⑤; 杜子图等, 1998
38 大水	玛曲	>50		大	类卡林	白龙江逆冲带南缘, 西倾 山隆起带忠曲背斜	中三叠世碳酸盐岩, 次为 侏罗系砾岩、二叠纪灰岩	中三叠世, 二 叠纪, 侏罗纪	偏碱性花岗闪长岩(钾 氢: 174.3~191Ma)	燕山期, 不早于侏罗纪	阎升好等, 2000
39 贡北	玛曲	?	?	小	类卡林	白龙江逆冲带南缘, 西倾 山隆起带忠曲背斜	三叠系碳酸盐岩建造, 白 垩纪(?)红色砾岩	中三叠, 白 垩纪	燕山期花岗闪长岩岩 脉或岩株	燕山期, 不早于白垩纪	⑤; 杜子图等, 1998

续表 1

矿床	地区	储量 (t)	品位 (g/t)	规模	类型	构造位置和/或控矿构造	赋矿地层/容矿建造	含矿围岩时代	岩浆岩及时代	成矿时代	资料来源
40 尚家沟	康县			中	卡林型	康县—略阳缝合带北侧	三河口群细碎屑岩	泥盆纪	不发育	石英钨矿: 162 ± 1 Ma (P), 160 ± 1 Ma (I)	邵世才等, 2001
41 阳山	文县	>95	6	大	卡林型	松潘造山带, 若尔盖—文县逆冲带北侧	碳酸盐岩—碎屑岩	三叠纪	矿前花岗岩脉(5件钾钨矿: 171~209 Ma, 平均 189.4 Ma)	石英钨矿: 195 ± 1 Ma (P), 191 ± 2 Ma (I)	齐金忠等, 2003a
42 石鸡坝	文县	10	4.3	中	卡林型	松潘造山带, 若尔盖—文县逆冲带北侧	碳酸盐岩及碎屑岩	三叠纪	矿前花岗岩、花岗细晶岩(钾钨矿: 149.4 ± 4.5 Ma)	花岗闪长岩脉	李亚东等, 1994; 王平安等, 1998
43 联合村	南坪	10	4	中	卡林型	松潘造山带, 若尔盖—文县逆冲带北侧	碳酸盐岩及碎屑岩	二叠纪	不发育	印支—早燕山	①
44 马脑壳	南坪	>20	?	大	卡林型	松潘造山带, 若尔盖—文县逆冲带北侧	杂谷脑组钙质粉砂岩—板岩	中三叠世	矿区 35km 之外有花岗岩出露	钨矿等时线: 包裹体 210 ± 11 Ma; 石英脉 46 ± 64 Ma	王可勇, 2000; 季宏兵等, 1999
45 巴西	若尔盖	>10	2.5~20	中	夕卡岩/类卡林	松潘造山带, 若尔盖—文县逆冲带北侧	细粒碎屑岩—碳酸盐岩	中三叠世	石英闪长岩脉(钾钨矿: 137~200.7 Ma)	早燕山期	杜子图等, 1998; 李亚东等, 1994
46 桥桥上	松潘	15	4	中	卡林型	雪山断裂北侧	碳质板岩—碳酸盐岩	中三叠世	不发育	矿石热液矿物钨矿等时线: 167 ± 20 Ma	郑明华, 1994; 王平安等, 1998
47 东北寨	松潘	>50	6.2	大	卡林型	香腊台—跨石崖断裂破碎带	含碳陆源碎屑岩	早三叠世	岩浆活动微弱	95~190Ma	郑明华, 1989; 毛裕年等, 1994
48 哲波山	松潘	2	5	小	卡林型	逆冲断裂上盘	杂谷脑组沉积岩—火山碎屑岩	中三叠世	石英闪长岩脉(Rb-Sr: 227Ma); 花岗闪长岩(Rb-Sr: 159 Ma)	钨矿混合等时线模式年龄: 220Ma, 191 Ma	季宏兵等, 1998
49 金木达	阿坝			小	卡林型	阿坝地块西南缘, 鲜水河断裂北侧上盘	细粒碎屑岩—碳酸盐建造	晚三叠世	矿前中基性脉岩(K-Ar: 190Ma; Rb-Sr: 219 ± 12 Ma)	石英钨矿等时线: 187 ± 12 Ma; 黄铁矿模式年龄: 154Ma, 151Ma	张晓军等, 2002
50 金洞沟	平武	5	5.8	中	类卡林	龙门山逆冲带上盘	碳硅泥岩系	志留纪	矿区以东发育成矿花岗岩	中生代	①
51 银洞沟	郧县	15	1.8	中	类卡林	白河—十堰断裂与安康—房县断裂之间的郧洞岩背斜轴部滑脱带	浅变质冰碛岩—碳酸盐岩碎屑岩, 流纹岩, 凝灰岩	震旦纪—志留纪	矿前变流纹岩(多硅白云母钨矿: 223 ± 1 Ma; 石英包裹体钨矿: 205Ma, 全岩钨矿: 398Ma 和 434.5Ma)	≤ 205 Ma	刘从强, 1987, 1989; 秦正永等, 1996
52 许家坡	郧县	2.5	5	小	类卡林	安康—房县逆冲断裂上盘	浅变质冰碛岩—碳酸盐岩碎屑岩及火山岩	震旦纪—志留纪	同上	222.5 Ma (方法不清)	蔡锦辉等, 1999

注: 矿化类型是在现有研究程度的基础上初步确定的, 有待进一步检验。

1 成矿地质背景

秦岭造山带属于长期发展演化的复合型大陆造山带(张国伟等,1996),最终隆起于中生代华北与华南古大陆板块之间的碰撞造山作用(陈衍景等,1992;袁学诚,1997;朱日祥等,1998)。秦岭造山带可分为华北克拉通南缘、北秦岭造山带、南秦岭造山带和扬子克拉通北缘等4个构造单元,分别大致相当于碰撞大地构造相的仰冲基底推覆体、增生弧地质体、大洋台地复理石褶皱冲带和前陆带;其边界断裂由北而南分别是三门峡—宝鸡断裂(RBT)、栾川断裂、商州—丹凤断裂、勉县—略阳断裂和龙门山—大巴山断裂(MBT)。西秦岭卡林一类卡林型金矿集中于商州—丹凤断裂与龙门山—大巴山断裂之间(图1)。

秦岭造山带经历了如下主要发展演化阶段:① 1850Ma前,华北克拉通和西南克拉通的基底分别形成(胡受奚,1988)。② 1850~1050 Ma期间,扬子北缘为多岛海,并于1050Ma左右的Rodinian超大陆事件中形成地体增生型大陆边缘(陈衍景等,1992);此间华北克拉通南缘为沟弧盆体系的活动大陆边缘,并于1050Ma左右与中秦岭地体(以秦岭群杂岩为代表)碰撞拼贴,增生(胡受奚,1988)。③ 新元古代Rodinian超大陆裂解(张世红等,2000),中秦岭地体与华北板块再度分离,中秦岭地体演变为岛弧,其北侧出现二郎坪弧后盆地(Pt_3-Pz_1)(胡受奚,1988;张本仁等,2000;陈衍景等,2003);同时,扬子陆块北缘广泛伸展,局部出现洋壳(如毛堂群),大量发育新元古代—早古生代火山沉积岩系(含黑色页岩系)。④ 加里东运动(400Ma左右)中,二郎坪盆地闭合,中秦岭地体与华北板块拼贴碰撞,华北南缘全面隆升剥蚀,扬子北缘不均匀褶皱隆升。⑤ 晚古生代,扬子北缘伸展裂解,出现勉略洋盆,使南秦岭从扬子板块北缘分离出来,成为夹持于勉略洋与商丹洋之间的相对独立的“秦岭微板块”(张国伟等,1996),广泛接受了D— T_2 大洋台地相碳硅泥岩系沉积,并局部接受晚三叠统沉积。⑥ 古生代末至三叠纪,商丹洋和勉略洋(西延为阿尼马卿洋,构成松潘造山带北缘,许志琴等,1992)先后自东而西闭合,于三叠纪末全面闭合,秦岭微板块与扬子板块、华北板块全面对接,开始强烈的陆陆碰撞(也有人认为此时碰撞事件已结束),陆壳大规模拆离、俯冲、缩短、增厚(许志琴等,1986;胡受奚,1988),于220~205Ma开始发育碰撞型花岗岩类(Sun et al., 2002);侏罗纪沉积地层缺失,大面积发育碰撞型或S型花岗岩

(如宝鸡花岗岩杂岩体;张静等,2002),指示造山带挤压隆升达到高峰;白垩纪断陷盆地相红色磨拉石建造广泛发育,大面积发育钾长花岗岩和含富碱中酸性火山岩(如河南宝丰的大营组,钾氩年龄为128Ma),指示伸展背景的减压增温达到高潮;晚白垩世,出现少量A型花岗岩和碱性火山岩,指示区域热异常逐渐消失,碰撞造山作用全部结束(陈衍景等,1992;张增杰等,2003)。⑦ 中生代末开始(主要是古近纪),多处出现碱性橄榄玄武岩(如河南汝阳大安组)等幔源岩浆岩,标志着地壳或岩石圈板块重新裂解,进入了岩石圈动力学性质截然不同的构造演化阶段(陈衍景等,1992),即碰撞后的陆内造山阶段或新的威尔逊旋回。

2 金矿床地质地球化学特征

2.1 赋矿围岩的时代和岩性

以上特征与内华达卡林型金矿的赋矿围岩特征(Strenger et al., 1998; Emsbo et al., 1999, 2003)相一致。

在秦岭地区从震旦纪至三叠纪的地层中,均有卡林一类卡林型金矿发现(表1)。其中,前泥盆纪地层内发现9个矿床,泥盆系28个,石炭系1个,三叠系14个(图2)。54%的矿床产于泥盆系,27%的矿床产于三叠系。10个大型(含阳山超大型金矿)矿床中,泥盆系和三叠系各含5个,即各含50%的大型矿床。以上充分表明了泥盆系和三叠系的重要性。其中,大水金矿个别矿体切入侏罗纪河湖相含煤建造,贡北金矿和附近的格尔托金矿点的矿脉切穿三叠系碳酸盐岩—细碎屑岩建造与白垩纪红色砾岩的不整合,而进入白垩纪磨拉石建造(杜子图等,1998)。

赋矿岩性主要为碳酸盐岩—碎屑岩建造(表1),或碳硅泥质岩系(如拉尔玛金矿),且常遭受浅变质(板岩—千枚岩);部分矿床赋矿围岩中含火山岩(或火山沉凝灰岩夹层如煎茶岭、银洞沟和许家坡矿床),不少矿床围岩的碳质含量高(拉尔玛、桥桥上、东北寨),拉尔玛金矿围岩含碳硅质板岩的有机碳含量平均为2.32%(张复新,2001)。矿化常发生在碎屑岩与碳酸盐岩界面附近靠近碎屑岩的一侧,显示一定的层控特征。

从表1还可看出,矿床定位往往受到含矿建造的个别岩性层位控制,这些层位往往具有如下特征或其中部分特征(刘东升等,1994):① 富含有机质,一般在0.5%左右或更高,如拉尔玛金矿;② 大量发育白云岩,具备蒸发岩沉积的潟湖环境(张复新等,

1997);③ 夹有热水沉积的硅质岩或 SEDEX 型矿床(丁振举等,1999;郑明华,1994;谭运金等,2000),如西成一镇安一柞水晚古生代再生盆地,不仅产有李坝、双王、八卦庙、二台子等金矿,而且产有厂坝、八方山等 SEDEX 型铅锌银矿床;④ 含火山岩或火山凝灰岩,例如,金龙山金矿围岩泥盆系南羊山组含火山凝灰岩夹层(张复新等,2000);⑤ 铁含量偏高,常见含铁碳酸盐矿物(如:铁白云石—菱铁矿);⑥ 具有浊积岩特征(郑明华,1994);⑦ 高渗透性的化学活动性较强的钙质粉砂岩层位。

以上特征与内华达卡林型金矿的赋矿围岩特征(Strenger et al., 1998; Emsbo et al., 1999, 2003)相一致。

2.2 矿区岩浆岩和岩浆活动

美国卡林一类卡林型金矿区除常见脉岩外,还

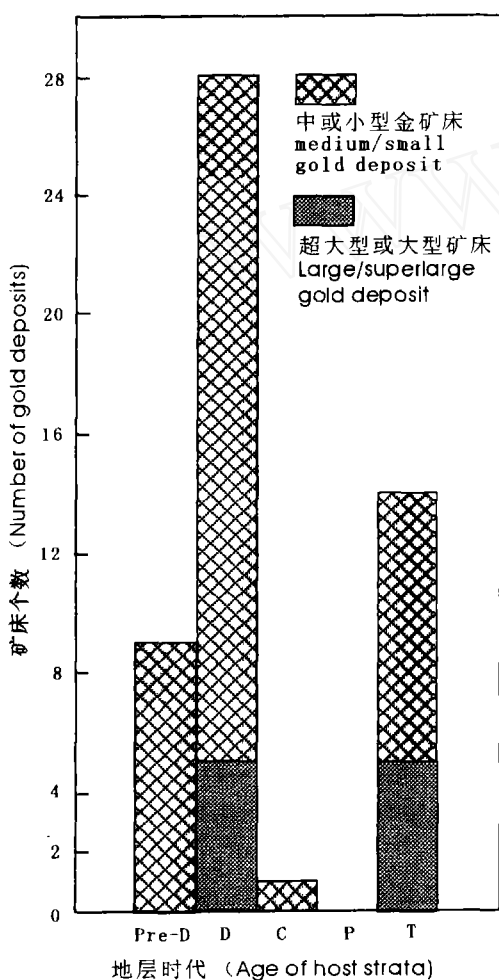


图 2 西秦岭地区不同时代地层赋存卡林一类卡林型金矿床的矿床数直方图

Fig. 2 Histogram of deposits hosted in strata of different ages in West Qinling Mountains

有侵入体和火山岩发育。西秦岭地区则不同,虽然部分矿区可见煌斑岩和其他类型的脉岩,但是,大多数金矿区缺乏具有规模的岩浆侵入体,而且多数脉岩发育在成矿之前,脉岩与成矿没有直接的联系。例如,金龙山—丘岭成矿带和碧口地体北缘成矿带基本缺乏岩浆岩侵入体,甚至缺乏脉岩;湖北银洞沟银金铅矿床和许家坡金银矿床的矿脉明显侵入到变质流纹岩、流纹斑岩和火山凝灰岩中(刘丛强,1987,1989;蔡锦辉等,1999);甘肃李坝、罗坝、金山、马泉等矿床虽然分布在中川岩体周围(图1a),但中川岩体侵位于金矿化之前(柳森,1994);陕西庞家河矿床南部和北部有花岗岩侵入体,双王金矿床距离西坝岩体约1km,马鞍桥金矿区发育香沟花岗闪长斑岩,但多数学者研究认为金矿化与这些岩体并无成因联系(张复新等,1997;李超^②;李福东等,2001)。在邻区甘孜造山带的丘洛金矿床,部分矿体产于三叠系碎屑岩系内的玄武岩夹层附近,玄武岩强烈蚀变(刘东升等,1994)。

2.3 控矿和赋矿构造

西秦岭的金矿床无例外地产于区域性逆冲断裂带上盘,容矿断裂往往是区域性控矿断裂上盘的次级配套断裂、背斜轴部走向断裂、层间破碎带(沿热水沉积层或碳质岩层等层位发育)以及挤压揉皱密集的裂隙带中;赋矿断裂往往控制着矿床的定位和矿体的形态、产状等,使这些矿床具有断控系列矿床的特点,并显示“背斜加一刀”的产出规律。例如,金龙山—丘岭金矿带分布于双河—公馆逆冲断裂北侧背斜构造轴部的米粮山—安家门断裂带(张复新等,1997);双王、八卦庙等矿床产于凤县—镇安断裂(山阳断裂)北侧上盘地次级断裂内;礼县—岷县地区的金矿均产于凤县—镇安断裂北侧的次级断裂带内(图1a);坪定、九源、忠曲、邛莫、大水、拉尔玛等金矿床均产于白龙江大型逆冲带(图3)及其西南分支——西倾山逆冲带的上盘;若尔盖—文县逆冲带北侧上盘发现了著名的阳山超大型金矿床和马脑壳大型金矿床,以及石鸡坝、联合村、巴西等金矿床;东北寨、桥桥上、哲波山金矿产于东西向雪山断裂上盘的近南北向断裂带,同时产于阿坝—黑水—平武—青川大断裂的北侧上盘;龙门山断裂北西侧产有金洞沟矿床和大量金矿点;湖北银洞沟和许家坡金矿分布在安康断裂北侧上盘银洞岩背斜轴部的滑脱断层或X型节理带(蔡锦辉等,1999)。

值得强调,上述区域性断裂在中生代均表现为倾向北的大型逆冲推覆构造,或称陆内俯冲(许志

琴,1986;许志琴等,1986;张国伟等,1996;李亚东等,1994;张复新等,1997;杜子图等,1998;陈衍景等,1992;胡受奚,1988),此事实已为地球物理研究所证实(袁学诚,1997;朱日祥等,1998),并成共识,无需本文赘述,仅以白龙江逆冲带构造图示例(图3)。

矿体形态受构造和某些岩性层位的控制,多数沿走向断裂、层间剥离面等构造分布,大多数呈透镜状、似层状、脉状或不规则状等。沿切层断裂发育的矿体多为脉状(李坝等),产于两组断裂构造交汇处(如二台子)或者受切层断裂与岩性层位复合控制

(如拉尔玛)的矿体多呈柱状。矿床由成矿流体沿构造带贯入交代而形成,使矿体与围岩界线不清,主要依靠化学分析圈定。矿体规模大小不一,长几十米至1000 m以上,厚<1m至>10m,延深可达几百米。矿体上部多遭受氧化,地表出现较大范围的酸淋滤带和硅帽(似碧玉岩),氧化深度可达100m以上。

2.4 矿床地质和围岩蚀变

世界范围的卡林一类卡林型金矿往往成带分布,常与汞、锑、砷、铀、重晶石等矿床共生(Kerrick et al., 2001)。秦岭地区亦如此(刘东升等,1994),卡林一类卡林型金矿多伴随着汞、锑、砷等元素矿化。

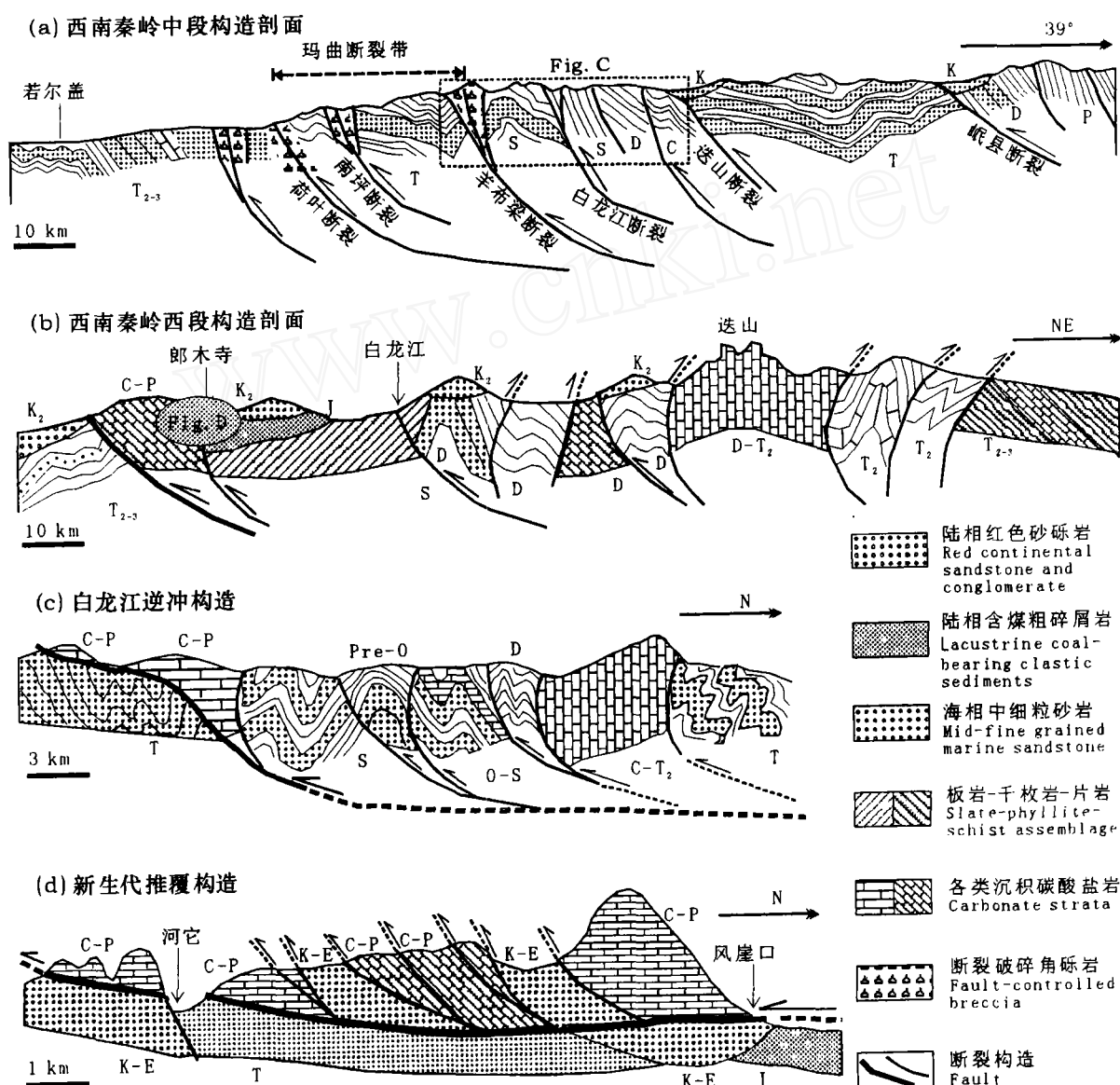


图3 西秦岭白龙江逆冲带构造剖面示意图

(据杜子图等,1998,略有修改)

Fig. 3 Schematic map showing underthrusting along the Bailongjiang fault belt (from Du Zitu et al., 1998)

例如,陕西金龙山—丘岭金矿带就发现于丁家山—马家沟汞锑矿带(含金锑矿)中;甘肃拉尔玛—坪定金矿带则与该区 Hg—Sb—U 矿带空间上几乎重合;川西北东北寨、桥桥上等金矿床附近有很多汞、锑矿点;拉尔玛、李坝等矿床与铀矿化伴生或共生;陕西镇安二台子金矿区发现了大量的重晶石,而略阳东沟坝金矿主要产于重晶石—石英脉中。

除秦岭地区卡林一类卡林型金矿(T1)元素含量较低(张复新等,1999),而不同于美国西部卡林一类卡林型金矿省之外,其他特征均与美国卡林一类卡林型金矿省一致。矿石元素组合为 Au(U)、As、Hg、Sb、Ag;Au/Ag(储量比)变化大,但一般大于1(刘东升等,1994);矿石主要金属矿物有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雌黄(雄黄)、磁黄铁矿、辰砂等;常见脉石矿物有石英、白云石、方解石、绢云母、重晶石、绿泥石等;自然金以次显微金和显微金的形式存在,氧化矿石中可见明金,个别矿床的原生矿石中也可见明金;常见矿石构造有浸染状构造、脉状构造、角砾状构造、网状构造、纹层状构造等。

秦岭卡林一类卡林型金矿的围岩蚀变以硅化、黄铁矿化、碳酸盐化最为强烈和广泛,也常见砷化物化、多金属硫化物化(辉锑矿等)、绢云母化、钠长石化、绿泥石化等,矿化早期围岩发生了去碳酸盐化作用(张静等,2002)。例如,双王和二台子金矿的钠长石化和铁白云石化普遍而强烈(李超^①),银洞沟矿

床的面型硅化和铁白云石化也十分强烈(蔡锦辉等,1999)。总体而言,多数矿区发生了以碳酸盐被石英交代为标志的脱钙增硅作用;矿化蚀变过程大致为3个阶段:石英黄铁矿阶段,多金属硫(砷)化物阶段和碳酸盐阶段。

2.5 矿床地球化学和成矿物理化学条件

秦岭地区卡林一类卡林型金矿的流体包裹体多为盐水溶液,少数矿床发现富 CO₂包裹体和多相包裹体;均一温度在120~360℃之间(表2),集中在160~300℃之间,属于中低温热液矿床,与滇黔桂地区卡林型金矿成矿温度(Zhang et al., 2003; Cromie and Zaw, 2003)相当,与内华达州卡林一类卡林型矿床成矿温度集中在180~250℃范围(Kerrick et al., 2000; Cline and Hofstra, 2000)也相一致,但略高于内华达地区。成矿流体盐度多在1%~10%(NaCl_{eq})之间,个别达20%(NaCl_{eq})以上,高于内华达卡林一类卡林型金矿成矿流体盐度,后者一般低于8%(NaCl_{eq})(Lamb et al., 1997);除马鞍桥和双王金矿床外,成矿流体压力一般为5~50 MPa,相应的成矿深度约0.5~5 km(按静水压力计算)或0.1~2km(按静岩压力计算),略浅于内华达卡林一类卡林型金矿的成矿深度2.5~6.5km(Kerrick et al., 2000),属于浅成矿床。双王金矿成矿温度最高达350℃,成矿压力为140~175 MPa,计算成矿深度分别为3.8~4.8km(静岩压力计算),已向造山带型

表 2 西秦岭金矿床成矿物理化学条件和深度

Table 2 Metallogenic physicochemical conditions and depth of the gold deposits in West Qinling Mountains

矿床	温度 (℃)	盐度 (%NaCl _{eq})	F/Cl	CO ₂ /H ₂ O	pH 值	密度 (g/cm ³)	压力 (MPa)	深度 ^① (km)	资料来源
马鞍桥	300	低		0.11~0.18	5.2~5.6		240~300	8~10	李福东等, 2001
双王	120~350	1.3	0.004~0.012	0.05~0.31	3.8~5.9	0.9	140~175	3.8~4.8	②
八卦庙	260	6.5~21.2		富 CO ₂		0.8	33~51	0.9~1.4	张恩等, 2001
二台子	150~360		0.07~0.92	0.01~0.26	4.6~5.2				②
金龙山	81~246	5.7~7.9	0.009~0.65	0.009~0.01			43~47.5	1.6~1.8	张静等, 2002; 张复新等, 1997
腰堡	120~167		0.02~0.32	0.038~0.039					张静等, 2002
丘岭	149~277	5.7~7.9	0.002~0.22	0.0036~0.24			43~47.5	1.6~1.8	张静等, 2002; 张复新等, 1997
李坝	188~256	9.1			3.6~5.6	0.71	35~50	1~2	黄杰等, 2000
拉尔玛	180~310	<5					5~25	<0.8	王驹, 1994
大水	150~200	<10	0.19	0.022		0.9			阎升好等, 2000
银洞沟	180~320	2~15(6~8)	极低	0.004~0.042		0.9	19~25	<0.8	刘丛强, 1989
银洞沟	115~285	9~12	低				50~55	1.8~2	蔡锦辉等, 1999
哲波山	200~300		1		5.4				季宏兵等, 1998
东北寨	163~187	5.1~11.7				0.965	17	0.5	毛裕年等, 1994
桥桥上	186	9.2				0.944	11.6	0.3	王平安等, 1998
金木达	140~360	1~15	0.022~0.181	0.20~1.0		0.7~0.8			张晓军等, 2002
丘洛	255	6.8				0.854	19.3	0.5	王小春, 2001

① 按照静岩压力计算。

金矿过渡。马鞍桥金矿成矿温度在300℃左右,成矿压力为240~300 MPa,成矿深度为8~10km(静岩压力计算),已与典型造山带型金矿一致。以上显示秦岭卡林一类卡林型金矿成矿物理化学条件变化范围较大,卡林一类卡林型与造山型金矿之间并无截然界限,但就整个矿集区而言,西秦岭作为卡林一类卡林型金矿省是合适的。

据刘东升等(1994),不同地带金矿床的成矿流体性质不尽相同,川西北以 Ca^{2+} — $(\text{Mg}^{2+}$ — Na^{+})— SO_4^{2-} 型为主,陕南则以 Ca^{2+} — $(\text{Na}^{+}$ — SO_4^{2-} — $\text{Cl}^-)$ 型为主;矿质沉淀于高硫低氧的还原环境,成矿溶液为中偏酸性。笔者等研究(张复新等,2000;李超^②;张静等,2002)表明,金龙山、丘岭、腰俭、二台子、双王等金矿床成矿流体均为 Ca^{2+} — Na^{+} — SO_4^{2-} — Cl^- — F^- 型为主,且晚期流体 CO_3^{2-} 离子含量增高;气相成分均以水为主, C_2H_6 含量较高,此与不少其他矿区发现烃类包裹体和沥青物质相吻合,显示有机流体参与了成矿作用(陈衍景等,2001)。表2显示,除哲波山矿床外,多数矿床的F/Cl值较低;除金木达外,多数矿床的 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 值较低;反映成矿流体可能主要源于封存在西秦岭泥盆系—三叠系地层中的高盐度沉积盆地流体(大量白云岩发育)的活化。需要补充,不同阶段的流体往往具有差别较大的特征,如银洞沟矿床,虽然成矿流体阳离子含量顺序为 $\text{Na}^{+}>\text{K}^{+}>\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}$,但阴离子含量顺序在金银矿化阶段为 $\text{SO}_4^{2-}>\text{Cl}^->\text{F}^-$,铅锌矿化阶段为 $\text{Cl}^->\text{SO}_4^{2-}>\text{F}^-$ 。

大量氢氧同位素研究表明,西秦岭地区的多数卡林一类卡林型金矿的成矿流体经历了从早期变质建造水向晚期大气降水演化(刘东升等,1994;张复新,2001),总体来源较浅,与岩浆作用关系不大。而且流体 $\delta^{18}\text{O}$ 偏高,原因之一是围岩地层主要由高 ^{18}O 的岩石类型(如碳酸盐、硅质岩和石英砂岩等)组成。碳、锶、铅同位素组成偏高(郑明华,1994;张复新等,2000),同样与西秦岭海西—印支构造层的岩石性质有关。总之,成矿流体和成矿物质主要来自海西—印支构造层的沉积地层,即含矿建造。

3 成矿时间和地球动力学环境

笔者等收集和统计了西秦岭卡林一类卡林型金矿床的同位素测年数据(表1,图4),这些数据来自对矿床本身或相关脉岩等地质体的年龄测定。除个别数据(后述)外,所测年龄基本落入100~220Ma

之间,并以170Ma为高峰。

在所收集的年龄数据中,5件大于220Ma。金龙山矿区的矿化泥质灰岩的绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 232.7 ± 6.9 Ma,已被解释为围岩变质年龄或矿化开始的年龄(张复新等,2000)。银洞沟矿床变质流纹岩围岩的多硅白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为222.6Ma(秦正永等,1996),显然属于成矿前的围岩高压变质年龄。蔡锦辉等(1999)报道了与银洞沟矿床邻近的许家坡矿床成矿年龄为222.5Ma,但没有报道该年龄的测试方法、样品性质以及相关测试数据,故该年龄数据的可信度无法判断。其余2件大于220Ma的年龄皆来自邛莫金矿区,其一为2个围岩变质期石英和2个成矿早期石英共同构成的铷锶等时线,给出 227 ± 67 Ma的年龄(郑明华,1994),该年龄的地质意义模糊,无法解释为成矿年龄;其二为242Ma的绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄,绢云母来自TC10探槽“石英脉两侧及边部”的板岩(郑明华,1994),似应解释为成矿前的变质年龄或“沉积—变质”的混合年龄;与此同时,邛莫矿床含矿石英脉包裹体铷锶等时线测定给出了 192 ± 13

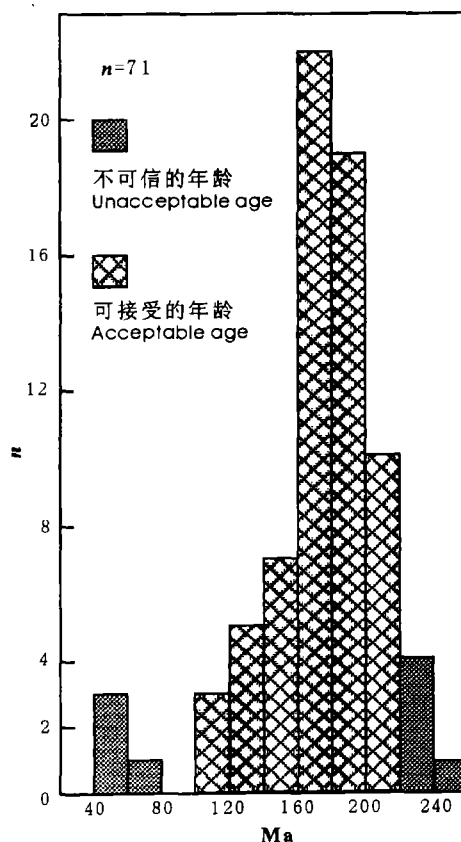


图4 西秦岭地区卡林型金矿床的成矿年龄直方图
Fig. 4 Histogram of metallogenic isotope ages of gold deposits in West Qinling Mountains

Ma 和 169 ± 11 Ma 的年龄, 矿区各类脉岩的 11 件钾氩年龄 (215.5, 214, 199.1, 186.3 ± 6.9 , 173.8, 169 ± 2 , 166 ± 4 , 136.2, 130, 130, 102.3 ± 8.2 Ma) 分布在 102.3~215.5 Ma (郑明华, 1994), 集中在 130~199 Ma 之间, 表明成矿发生在 130~200 Ma 之间。总之, 关于成矿年龄大于 220 Ma 的报道均不能令人信服。

西秦岭卡林一类卡林型金矿测年获得了 4 件小于 80 Ma 的年龄。其中, 2 件年龄数据来自拉尔玛金矿, 其一为铀矿石的铀铅年龄 $46 \sim 10$ Ma (李亚东等, 1994), 由于铀元素极易在表生环境形成铀酰离子而活化, 因此该年龄被解释为矿床裸露后的风化阶段的年龄; 其二为石英“氩氩坪”年龄 49.5 ± 8.7 Ma (王驹, 1994), 事实上, 该值只是石英样品在 9 个加热阶段中的一个阶段 ($< 400^\circ\text{C}$ 阶段) 的视年龄, 而 9 个阶段的视年龄从 47.3 Ma 变化到 2592.6 Ma, 谱图为不规则的折线, 根本没有“坪”存在 (详见王驹, 1994)。然而, 拉尔玛矿区英安斑岩钾氩年龄为 172 Ma, 金矿石 U-Th-Pb 年龄为 117.5 Ma (李亚东等, 1994), 铀矿石铅等时线年龄 109 Ma (王驹, 1994), 表明拉尔玛金矿形成于燕山期。另外 2 件小于 80 Ma 的年龄分别来自金龙山金矿和马脑壳金矿。金龙山金矿的似碧玉岩铷锶等时线年龄 60.5 Ma, 被作为矿床遭受风化作用的年龄 (张复新等, 1997, 2000)。马脑壳金矿含金石英脉铷锶等时线年龄为 46 ± 64 Ma, 曾被解释为喜马拉雅期矿化年龄 (季宏兵等, 1999), 笔者等认为该年龄由于误差过大而没有意义。总之, 小于 80 Ma 的同位素年龄都不宜解释为成矿年龄。

从地质上分析, 220~100 Ma 的同位素年龄分布范围, 尤其是 170 Ma 的年龄高峰, 基本代表了西秦岭地区的成矿时间范围和最强烈的成矿时间。理由是:

(1) 西秦岭地区海相沉积作用在泥盆纪—三叠纪期间连续进行, 三叠纪晚期沉积范围逐步缩小并结束; 侏罗纪地层基本缺失; 早白垩世开始出现断陷盆地, 发育陆相红色磨拉石建造; 前侏罗纪地层全部变形和变质, 侏罗纪以后的地层变形微弱, 没有遭受变质; 充分证明强烈的挤压造山作用发生在侏罗纪。碰撞期的变质、岩浆作用及其相关流体作用应使大规模成矿作用发生在侏罗纪。

(2) 几乎所有矿床赋存在前侏罗纪变质地层中, 尤其是海西—印支构造层 (D—T) 中, 矿体不随地层变形, 只有大水金矿矿体切入侏罗纪河湖相含煤砂

砾岩建造 (阎升好等, 2000), 贡北金矿及其邻近的格尔托金矿的矿体切入白垩系底部 (杜子图等, 1998), 表明主体成矿时间不早于含矿围岩的强烈变形变质作用, 并不晚于白垩纪, 即成矿主要发生在侏罗纪—白垩纪。因此, 有关该区卡林一类卡林型金矿成矿时间早于 220 Ma 难以获得地质证据支持。

(3) 秦岭地区新生代冲积物中发现大量砂金矿床, 说明绝大多数岩金矿床在新生代之前已经形成并开始裸露剥蚀, 大规模金成矿作用不晚于 65 Ma; 同时, 在前侏罗纪的大量沉积物中, 至今没有发现古砂金矿床或矿化, 白垩纪地层中亦无砂金矿床报道, 指示该区没有前侏罗纪甚或前白垩纪的金矿床裸露地表并遭受剥蚀。这充分证明大规模金矿化发生在侏罗纪—白垩纪。

(4) 三叠纪海相沉积物的广泛发育指示西秦岭地区的全面陆—陆碰撞应始于三叠纪末或其后, 而白垩纪断陷红盆地的广泛出现又指示造山带在白垩纪开始伸展垮塌, 如此, 侏罗纪不仅发生了最强烈的挤压造山隆升, 而且实现了由挤压向伸展的转变。按照已有的碰撞造山成矿理论, 挤压向伸展转变期的增温减压体制是最强的流体成矿作用时期 (陈衍景, 1996; Chen, 1998; 陈衍景等, 2003), 侏罗纪 (尤其是中晚期) 应是西秦岭地区多种热液矿床大规模形成时间。

(5) 世界不同碰撞造山带的大规模成矿高峰时间 (尤其是中温脉状金矿成矿时间) 滞后于洋壳最终闭合时间约 50 Ma (Goldfarb et al., 2001; 陈衍景, 2002), 而西秦岭 170 Ma 的成矿高峰恰恰滞后于最晚的洋壳闭合时间 (晚三叠世, 230~208 Ma 或 220 Ma) 50 Ma。

上述地质分析尚得到以下造山带年代学研究结果的支持:

(1) 由勉略洋俯冲产生的略阳县黑沟峡地区的岛弧火山岩 Sm-Nd 等时线年龄为 242 ± 21 Ma, 铷锶等时线年龄为 221 ± 13 Ma (Li et al., 1996b)。

(2) 商丹带的商南县赵川地区的多硅白云母和钠闪石氩氩年龄为 210~230 Ma (许志琴, 1986)。

(3) 沿勉略带分布的勉县安子山地区的高压榴辉岩矿物—全岩钐钕等时线年龄为 192 ± 34 Ma (5 个点, 删去 2 个点后为 206 ± 55 Ma), 其黑云母氩氩坪年龄为 199.6 ± 1.7 Ma, 等时线年龄为 201.3 ± 2.5 Ma (Zhang et al., 2002)。

(4) 大别—苏鲁地区快速折返的高压—超高压榴辉岩和相关变质岩的同位素年龄为 220~210 Ma

(Amer et al., 1993; Li et al., 1996a; Chavagnac and Jahn, 1996)。

(5) 秦岭地区的碰撞型花岗岩在220~205Ma开始发育(Sun et al., 2002)。

综上所述,无论是同位素年龄统计,还是地质理论分析,均表明西秦岭卡林一类卡林型金矿大规模成矿时间为220~100Ma,与碰撞造山作用同步;成矿高峰为170Ma左右,即中侏罗世,地球动力学背景为陆陆碰撞的挤压向伸展转变期。

4 构造成矿模式

既然西秦岭地区卡林一类卡林型金矿成矿时间、空间、地球动力学背景均与碰撞造山作用吻合,而且研究区已被从多角度证实同碰撞时期的陆内俯冲作用异常强烈(许志琴等,1986;胡受奚,1988;张国伟等,1996;Chen,1998;朱日祥等,1998),我们就应该优先考虑运用基于分析陆内俯冲过程中物质活化迁移规律而建立起来的碰撞造山成岩成矿和流体作用模式(简为CPMF或CMF模式;Chen,1998;陈衍景等,2003)来分析秦岭卡林一类卡林型金矿的成因、分布和地质地球化学特征。

在龙门山断裂与商丹断裂之间,发育一系列倾

向北的陆内俯冲(或由北向南的推覆体),如勉略断裂、白龙江断裂、石泉—房县断裂、双河—公馆断裂、凤县—镇安断裂(图5)。在强烈的碰撞挤压期,各下行板片迅速增温增压,不稳定组分因变质活化而形成含矿流体,流体向上迁移并活化萃取围岩中的成矿物质,然后在地壳浅层低温低压的有利位置(如断裂破碎带、破背斜等)沉淀,引发了卡林一类卡林型金矿的早期矿化,以形成石英—黄铁矿组合为标志。

随区域热异常增高,挤压应力开始减弱,地球动力学环境转入减压增温体制,即挤压—伸展转变期。此时,俯冲板片因减压分熔和增温分熔而势必派生大规模成矿流体(变质—改造热液)或熔体。同时,“增温”为热液活动提供了最多的热能,“减压”使构造扩容而为热液活动提供了良好的通道;如此环境造成了异常强烈的浅层大气降水热液循环。因此,减压增温体制的变质—改造流体(具建造水特征)和浅层大气降水热液作用都最为强烈,不可避免地发生最强烈的流体混合,而流体混合是公认的成矿物质大规模沉淀的重要机制和方式之一。不难理解,由流体混合所形成的矿物成分复杂,结晶程度差,杂质含量高,此即秦岭卡林一类卡林型金矿常见的成矿作用演化中期的多金属硫化物阶段。

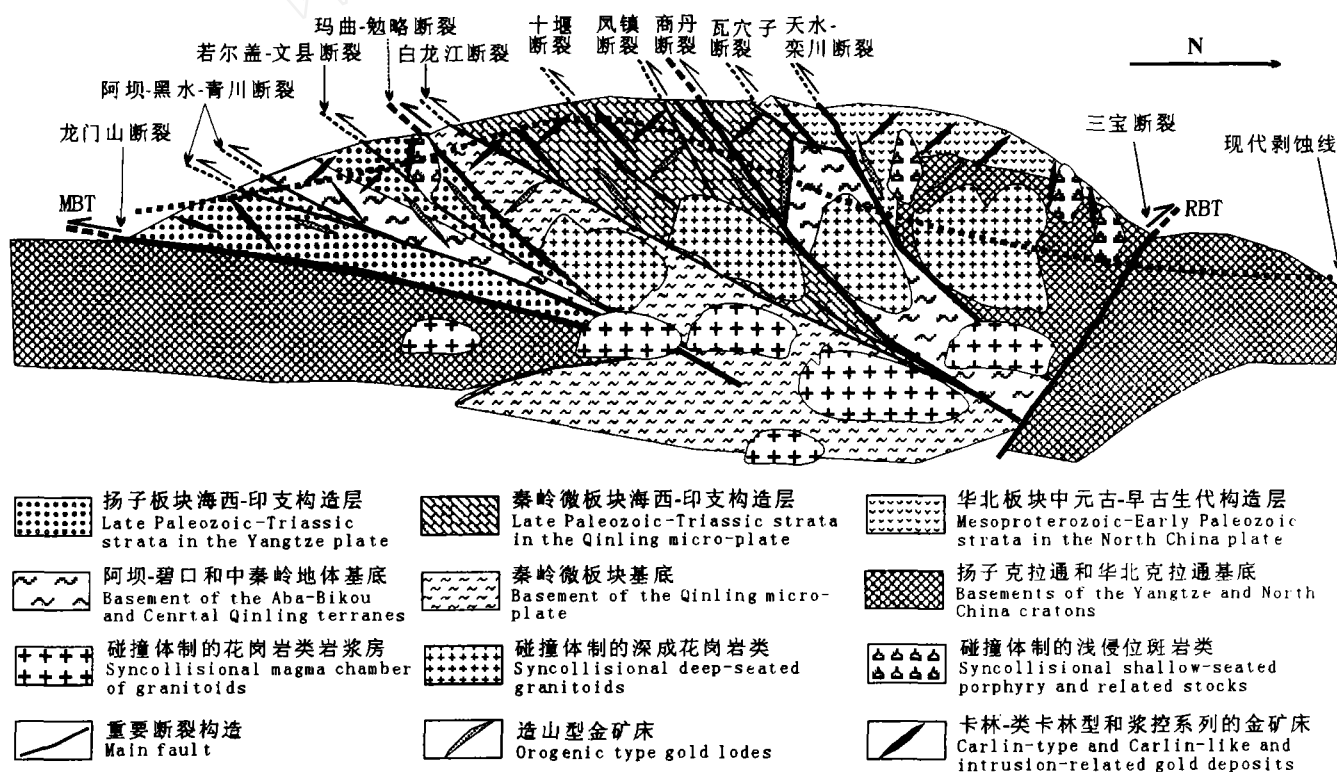


图5 西秦岭卡林一类卡林型金矿成矿构造模式

Fig. 5 Tectonic model for metallogeny of the Carlin and Carlin-like gold deposits in West Qinling Mountains

增温达高峰之后,区域地热异常逐渐衰退,进入伸展减压降温阶段。此时,由于:① 温度降低,很多物质不能活化;② 因前两个阶段活化抽提作用,板片内的活动组分大大减少,源于深层次的变质—改造流体作用大大减弱;③ 由于热异常降低或消失,大气降水热液作用也减弱。因此,该阶段流体成矿作用逐渐消失,对矿床形成的贡献较小,以发生低温碳酸盐化为标志。显然,上述作用伴随于西秦岭造山带的地壳增厚隆升过程,因此成矿温度从早阶段到晚阶段逐渐降低,成矿压力和深度也逐渐降低,流体包裹体中的富 CO_2 包裹体也逐渐减少。

需要补充,上述成矿模式已经得到金龙山—丘岭金矿带的详细例证(张复新等,2000;张静等,2002),也适合于解释西秦岭各个卡林—类卡林型金矿的成矿作用演化和矿床地质地球化学特征。

5 问题和讨论

前面的总结使我们更全面而清楚地了解到西秦岭卡林—类卡林型金矿的地质地球化学特征,矿床分布空间,成矿时间、地球动力学背景、模式和成矿过程以及与大地构造演化的内在联系;同时,也呈现出了一些新的重要问题,例如,为什么矿床主要赋存在泥盆系和三叠系的地层中?为什么矿床主要分布在南秦岭,而北秦岭较少?为什么西秦岭的大规模成矿时间早于东秦岭(135Ma)?为什么西秦岭的金矿床以卡林—类卡林型为主,而东秦岭以造山型为主?为什么西秦岭金矿区出露的花岗岩类较少,而东秦岭较多?等等。这些问题需要我们进一步研究,本文也有必要提出,并略作探讨。

5.1 泥盆系和三叠系赋矿的现象和原因

泥盆系地层中已发现了李坝、金龙山、双王、八卦庙、鹿儿坝等5个大型金矿,它们主要分布在白龙江逆冲带以北,尤其是凤县—镇安断裂以北的西成—镇安—柞水盆地。西成—镇安—柞水盆地的泥盆系地层以含钠长板岩为特征,多数金矿与钠长板岩层位有关。长期以来,钠长板岩被解释为热水沉积产物,但笔者等研究认为其可能是钠长岩化的蒸发岩系,具体理由是:① 世界范围内尚无其他热水沉积的钠长岩报道,而且海底喷流环境一般亏损铝,难以满足钠长岩形成对铝的大量需要;② 钠长板岩与白云岩等碳酸盐地层共生,应属稳定浅海—滨海环境,此类环境不利于热水喷流作用发生,而应是十分有利的蒸发环境;③ 在双王金矿区的跳鱼潭,可见保留完好的典型垮塌构造,此属蒸发盐类常见的典型

现象;④ 除局部破碎并金矿化外,钠长板岩内几乎不含硫化物,Cu、Pb、Zn 等元素含量很低,此与海底黑烟囱和白烟囱沉积物富集这类元素的特征相矛盾,但恰与蒸发岩系的特征吻合;⑤ 作为加里东碰撞造山运动以后的再生盆地最底部的沉积建造,似应首先经历封闭—半封闭的浅海蒸发沉积,而沉积相分析已经揭示该区泥盆系沉积于海岸—浅海环境,包括了潮坪、潟湖、滨岸或障壁岛、浅滩、生物浅滩或点礁、生物礁、碳酸盐台地、碳酸盐斜坡、萎缩盆地、局限盆地、水下建隆、台前斜坡和局限台盆等13种沉积相组合(详见张复新等,1997)。可见,上述环境中应有蒸发岩系发育。

三叠系中发现了东北寨、阳山等大型矿床,这些矿床及三叠系地层主要分布在川西北和甘南地区,集中在白龙江冲断带以南。三叠系地层主要分布在南秦岭南部,尤其是上三叠统仅局部发育,这一现象表明:① 海相沉积中心由北向南迁移,② 沉积盆地逐渐缩小,造山隆升逐步开始;③ 海水由深变浅,由开放变封闭,由广海演变为地中海、里海性质的内陆盆地,逐步有利于蒸发盐类发育,并最终被快速沉积的碎屑物所封盖(至少封存了大量高盐度卤水,类似于罗布泊)。事实上,三叠系地层大量白云岩发育已经指示海水的盐度逐步提高,势必尾随蒸发岩系。

蒸发岩系主要由硫酸盐和卤化物组成,由于其活动性强而在地质历史中很难以盐类的方式保存下来,尤其是在遭受了变形变质之后,更难保存。因此,现存西秦岭泥盆系和三叠系地层缺乏蒸发岩系不等于造山前没有蒸发岩系发育。正因如此,在中生代造山过程中,这些含有大量卤族元素和碱金属元素的蒸发盐类或盆地卤水率先活化,为金等成矿元素活化迁移成矿提供了大量有利的络合物配体和外界阳离子,因此导致海西—印支构造层中最底部的泥盆系和最顶部的三叠系成为最佳的赋矿层位。事实上,矿石建造中重晶石的大量存在,钠长岩的大量发育,成矿流体中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 等离子的高含量,已经证明了蒸发岩系的存在和对金矿化的重要作用。

5.2 西秦岭地区北秦岭与南秦岭构造带的成矿差异

图1显示,西秦岭地区的金矿分布在商丹断裂以南的南秦岭构造带,而商丹断裂以北的北秦岭构造带基本没有金矿床(小秦岭地区已属于东秦岭的范围)。为什么南、北秦岭存在如此差别呢?

从前面对西秦岭卡林—类卡林型金矿的总结可

以看出:① 除个别矿床外,西秦岭金矿赋矿地层时代从南向北有变老的趋势(表1);② 从南向北,成矿温度、压力和深度有增高的趋势,矿化类型有从卡林型向造山型过渡的趋势,尤其是马鞍桥金矿,已经具有造山型或中温脉状金矿的典型特征;③ 从各矿区内岩浆岩产出情况和岩浆岩的区域分别情况看,从南向北,岩浆岩(尤其是花岗岩类)增多,岩浆岩出露层次变深(由火山岩—潜火山岩变为深成岩),礼县—岷县地区的金矿产于中川岩体附近,双王金矿南距西坝岩体2km,而商丹断裂以北自西向东依次出露宝鸡、柞水、老牛沟等中生代巨型深成花岗岩基。以上表明:从南向北,造山带剥蚀程度增强,出露层次变深,中浅成的卡林一类卡林型金矿越来越难以保存;北秦岭造山带也比南秦岭显著变窄。由于商丹断裂以北缺失泥盆系及其以后的地层,基本为花岗岩基和中高级变质岩所占据,而金矿成矿流体系统发育深度难以超过20km(陈衍景,1996;陈衍景等,2003;Goldfarb et al., 2001),因此西秦岭的北秦岭造山带不仅缺少卡林一类卡林型金矿的形成和保存条件,而且造山型金矿的保存几率也很小。

5.3 东秦岭与西秦岭金矿床类型的差异

东秦岭地区的金矿床以造山型为主,尤其以小秦岭、熊耳山和桐柏地区为代表,卡林一类卡林型金矿较少。西秦岭金矿省分布有较多的汞、铅、锌、重晶石等中低温热液矿床,而东秦岭成矿省则有较多的钨、钼等高温热液矿床。西秦岭金矿省中生代花岗岩类较少,东秦岭金矿省中生代花岗岩类,尤其是晚侏罗世和早白垩世花岗岩类大量发育。西秦岭地壳厚度大于东秦岭,西秦岭很少出露超高压榴辉岩,而东秦岭多处发现超高压榴辉岩,并大量出露中高级变质的麻粒岩地体。以上似乎一致地表明,东秦岭造山带遭受的剥蚀程度大于西秦岭,因此没有发育西秦岭的大量卡林一类卡林型金矿床。如果这一解释正确,则西秦岭地区的深部应该存在造山型金矿省,因此找矿潜力巨大。

5.4 东秦岭与西秦岭的成矿时间差异及其可能原因

东秦岭与西秦岭的地质分界并不明显,但东秦岭大规模成岩成矿高峰却被公认在135Ma(陈衍景等,1992;胡受奚等,1997;Li et al., 2001; 陈衍景,2002;Mao et al., 2002);同时,东秦岭地区的挤压向伸展转变期也被确定在侏罗纪—白垩纪之交(陈衍景等,1992)。同一造山带,为什么存在如此差异呢?显然值得探讨。

笔者等初步认为,导致东秦岭相对于西秦岭构造体制转折时间和大规模成岩成矿时间滞后的原因是欧亚板块与太平洋板块的相互作用。早侏罗世(约180Ma之前),东南亚大陆与欧亚大陆的碰撞(Hsu et al., 1988; Sengor et al., 1996)遏止了东秦岭地区的南北向伸展,使东秦岭的伸展滞后,伴随华南造山带的伸展而伸展,使挤压向伸展转变体制发生在135Ma左右,因此包括东秦岭在内的中国东部的大规模成岩成矿作用爆发于135Ma左右(胡受奚等,1998;陈衍景,2002)。

6 主要结论

(1) 秦岭地区是世界最重要卡林一类卡林型金矿省之一,它与美国西部新生代活动大陆边缘弧后盆岭区的卡林一类卡林型金矿具有类似的地质地球化学特征,但却有明显不同的成矿地质背景,即分布于大陆内部的碰撞造山带。

(2) 秦岭卡林一类卡林型金矿赋矿地层主要是海西—印支构造层,以泥盆系和三叠系为主;围岩多为碳酸盐岩或细碎屑岩,原岩沉积过程蒸发岩的发育或大量高盐度卤水的封存,决定了泥盆系和三叠系成为最有利的赋矿建造和成矿流体来源。

(3) 秦岭卡林一类卡林型金矿主要分布在大型逆冲断裂带的北侧上盘,矿床定位受次级断裂构造控制。矿化类型从南向北具有从卡林型向造山型过渡的趋势,表明从南向北剥蚀程度增强,并导致北秦岭造山带缺乏卡林一类卡林型金矿床和其他类型的金矿床,代之以广泛发育巨型花岗岩基和中高级变质岩系。

(4) 秦岭卡林一类卡林型金矿主要分布在碰撞造山构造变形强烈的缝合带、前陆冲断带和秦岭微板块内部;成矿同位素年龄介于220~100Ma之间,以170Ma为高峰;在成矿时间和空间上与碰撞造山作用完全吻合,证明成矿地球动力学背景确属碰撞造山过程挤压—伸展转变期的减压增温体制。

(5) 秦岭卡林一类卡林型金矿地质地球化学特征和成矿地球动力学背景表明,基于分析陆内俯冲过程的物质变化而建立的碰撞造山成岩成矿和流体作用模式适用于研究和解释该区卡林一类卡林型金矿的成因、特征与分布规律,而沿龙门山、勉略、白龙江、双河—公馆、山阳等大型断裂带的陆内俯冲作用导致了矿床的形成和就位。

致谢 季宏兵博士提供了巴西等矿床的研究资

料,武警黄金14支队为野外研究提供了方便。韦龙明高级工程师等对本文提出了宝贵的修改意见,特此致谢!此外,Franco Pirajno 感谢西澳地质调查所允许其参加本文研究。

注 释

- ① 寸圭. 1992. 中华人民共和国黄金矿产图集. 国家黄金管理局, 1~62(内部资料).
- ② 李超. 2001. 陕西双王一二台子金矿成矿流体研究. 北京大学硕士学位论文, 1~94.
- ③ 宋祝明. 1995. 甘肃省碌曲县忠曲金矿床地质特征简介. 甘肃地质科技情报, (3): 48~51.
- ④ 肖和中. 1995. 玛曲县贡北金矿地质特征. 甘肃地质科技情报, (3): 30~33.

参 考 文 献

- 蔡锦辉, 张业明, 付建明, 陈盛峰. 1999. 鄂西北银洞沟银多金属矿床成因探讨. 地球学报, 20(增刊): 316~320.
- 陈衍景. 1996. 陆内碰撞造山体制的流体演化模式: 理论推导和东秦岭金矿氧同位素证据. 地学前缘, 3: 282~289.
- 陈衍景. 2002. 中国区域成矿研究的若干问题及其与陆陆碰撞的关系. 地学前缘, 9: 319~328.
- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1~234.
- 陈衍景, 张静, 刘丛强, 何顺东. 2001. 试论中国陆相油气侧向源: CPMF 模式的拓展和运用. 地质论评, 47: 261~271.
- 陈衍景, 隋颖慧, Pirajno F. 2003. CMF 模式的排他性证据和造山型银矿实例: 铁炉坪银矿同位素地球化学. 岩石学报, 19: 551~568.
- 丁振举, 刘丛强. 1999. 碧口群热水沉积硅质岩地球化学特征及其古流体作用. 沉积学报, 17: 706~711.
- 杜子图, 吴淦国. 1998. 西秦岭地区构造体系及金成矿构造动力学. 北京: 地质出版社, 145.
- 樊硕诚, 金勤海. 1994. 陕西双王型金矿床. 见: 刘东升, 主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京大学出版社, 254~285.
- 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 2003. 甘肃礼县李坝大型金矿床成矿地质特征及成因. 矿床地质, 22: 257~263.
- 胡受奚, 林潜龙, 陈泽铭, 黎世美. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿. 南京大学出版社, 1~558.
- 胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 张景荣. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京: 科学出版社, 1~343.
- 胡受奚, 赵懿英, 徐金方, 叶瑛. 1997. 华北地台金矿地质. 北京: 科学出版社, 1~220.
- 黄杰, 王建业, 韦龙明. 2000. 甘肃李坝金矿床地质特征及成因研究. 矿床地质, 19: 105~115.
- 季宏兵, 李朝阳, 文锦明. 1998. 川西哲波山金矿床的成矿物质来源及成矿时代. 科学通报, 43: 870~875.
- 季宏兵, 王世杰, 文锦明. 1999. 川西北地区马脑壳金矿床的成矿年代学. 矿物岩石地球化学通报, 18: 95~98.
- 李福东, 邹湘华, 高纪璞, 陆瑶, 张月红. 2001. 马鞍桥微细浸染型(沉积岩容矿)金矿床快速定位预测研究. 西北地质, 34: 27~63.
- 李亚东, 李应涛. 1994. 甘肃拉尔玛微细浸染型金矿床地质特征及成矿模式. 见: 刘东升, 主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京大学出版社, 226~253.
- 林宝增, 王杨, 司国强. 1994. 坪定砷金矿床地质特征及成矿模式. 见: 刘东升, 主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京大学出版社, 203~225.
- 刘丛强. 1987. 湖北银洞沟铅锌银矿床的地球化学特征及其成因分析. 矿床地质, 6: 53~61.
- 刘丛强. 1989. 湖北银洞沟铅锌银矿床的流体包裹体研究. 地球化学, (2): 139~148.
- 刘东升, 谭运金, 王建业. 1994. 中国的卡林型金矿床. 见: 刘东升, 主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京大学出版社, 1~38.
- 柳森. 1994. 李坝金矿床地质特征. 见: 刘东升, 主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京大学出版社, 160~202.
- 马建伟, 奥和会, 陈淑德. 1997. 秦岭金矿遥感地质. 北京: 地质出版社, 1~188.
- 毛裕年, 李小杜. 1994. 川-陕-甘“金三角”成矿区东北寨金矿床主要地质特征. 见: 刘东升, 主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京大学出版社, 317~342.
- 齐金忠, 袁士松, 李莉, 等. 2003a. 甘肃文县阳山金矿床地质地球化学研究. 矿床地质, 22: 24~31.
- 齐金忠, 袁士松, 李莉, 孙彬, 郭俊华, 李志宏, 范永香, 刘伟, 高秋斌. 2003b. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质特征及控矿因素分析. 地质论评, 49(1): 85~92.
- 秦正永, 雷世和. 1996. 武当群成岩年龄新资料兼讨论. 中国区域地质, (2): 176~185.
- 邱柱国, 徐开礼, 陶喜森. 1993. 陕西略阳“东沟坝式”黄铁矿型金银多金属重晶石矿床地质特征、成矿机制与模式. 见: 秦巴金矿论文集. 北京: 地质出版社, 162~177.
- 邵世才, 汪东波. 2001. 南秦岭3个典型金矿床的 Ar-Ar 年代学及其地质意义. 地质学报, 75: 106~110.
- 司国强, 李通国. 2000. 鹿儿坝金矿床地质特征及控矿因素分析. 甘肃地质学报, 9: 59~65.
- 谭运金, 邵世才, 田民民. 2000. 西秦岭礼县一太白地区金、铅锌矿床的地质地球化学. 矿床地质, 19: 201~210.
- 王驹. 1994. 碳硅泥岩型金(铀)矿床成矿富集地球化学. 北京: 原子能出版社, 1~136.
- 王可勇. 2000. 我国微细浸染型金矿床的形成条件及成矿作用特征. 贵金属地质, 9: 160~165.
- 王平安, 陈毓川, 裴荣富. 1998. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化. 北京: 地质出版社, 1~161.
- 王相. 1996. 秦岭造山与金属成矿. 北京: 冶金工业出版社, 187~229.
- 王小春, 叶生平. 2001. 论川西地区构造演化与金成矿作用之间的关系. 见: 陈衍景等, 主编. 大陆动力学与成矿作用. 北京: 地震出版社, 153~161.
- 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. 南京大学出版社, 286~305.
- 韦龙明, 谭运金. 1997. 秦岭地区与滇黔桂接壤区微细浸染型金矿差异性研究. 地质论评, 43: 420~427.
- 魏刚锋, 姜修道, 刘永华, 杜佩轩. 2000. 钵厂沟金矿床地质特征及控矿因素分析. 矿床地质, 19: 138~146.
- 许志琴. 1992. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社, 1~190.
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, Mattauer M, Matte Ph, Malavieille J, Tapponnier P, Maluski H. 1986. 东秦岭造山带的变形特征及其构造演化. 地质学报, 60: 237~247.
- 许志琴. 1986. 陆内俯冲及滑脱构造——以我国几个山链底壳变形研究为例. 地质论评, 32: 79~89.
- 阎升好, 王安建, 高兰, 赵彦庆, 陈国忠. 2000. 大水式金矿床地质

- 特征及成因探讨. 矿床地质, 19: 126~137.
- 袁学诚. 1997. 秦岭造山带地壳构造与楔入成山. 地质学报, 71: 227~235.
- 张本仁, 高山, 张宏飞, 等. 2000. 秦岭造山带地球化学. 北京: 科学出版社, 1~220.
- 张恩, 周永章, 郭健. 2001. 陕西八卦庙金矿床构造特征及其对成矿的控制. 矿床地质, 20: 229~233.
- 张复新, 陈衍景, 李超, 等. 2000. 秦岭造山带金龙山—丘岭金矿床地质地球化学特征及成因: 秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制. 中国科学(D辑), 30(增刊): 73~81.
- 张复新, 季军良, 龙灵利, 范春花. 2001. 南秦岭卡林型—似卡林型金矿床综合地质地球化学特征. 地质论评, 47: 492~499.
- 张复新, 马健秦, 陈衍景. 1999. 秦岭地区卡林型金矿床的地球化学研究. 地球化学, 28: 453~463.
- 张复新, 魏宽义, 马建秦. 1997. 南秦岭微细粒浸染型金矿床地质与找矿. 西安: 西北大学出版社, 1~190.
- 张复新. 2001. 秦岭造山带金矿类型与地质构造背景. 见: 陈衍景, 张静, 赖勇, 主编. 大陆动力学与成矿作用. 北京: 地震出版社, 90~99.
- 张国伟, 孟庆仁, 于在平, 等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑), 26: 193~200.
- 张静, 陈衍景, 舒桂明, 等. 2002. 陕西秦岭梁岩体矿物成分研究和有关问题讨论. 中国科学(D辑), 32: 113~120.
- 张静, 陈衍景, 张复新, 李超. 2002. 陕西金龙山卡林型金矿带成矿流体地球化学研究. 矿床地质, 21: 283~291.
- 张世红, 李正祥, 吴怀春, 等. 2000. 华北地台新元古代古地磁研究新成果及其古地理意义. 中国科学, 30(增刊): 138~147.
- 张晓军, 张均, 贾永胜, 周乔伟. 2002. 川西北金木达矿床地质地球化学特征研究. 地质与勘探, 38(3): 28~32.
- 张增杰, 陈衍景, 陈华勇, 等. 2003. 天山海西期不同类型花岗岩类岩石化学特征及其地球动力学意义. 矿物岩石, 23: 15~24.
- 郑明华. 1994. 喷流型与浊流型层控金矿床. 成都: 四川科学技术出版社, 1~273.
- 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 1998. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动. 中国科学, 28(增刊): 1~16.
- 邹海洋, 陈松岭, 戴塔根. 2000. 陕西旬阳淋湘金矿地质特征和成矿流体属性. 大地构造与成矿学, 24: 65~69.
- and its metallogenic significance: theoretical inference and evidences from gold deposits in eastern Qinling Mountains. Earth Science Frontiers, 3: 282~289 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 1998. Fluidization model for continental collision in special reference to study ore-forming fluid of gold deposits in the eastern Qinling Mountains, China. Progress in Natural Science, 8: 385~393.
- Chen Yanjing. 2002. Several problems in study of regional metallogenesis in China; their relationship to continental collision. Earth Science Frontiers, 9: 319~328 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Fu Shigu. 1992. Gold Mineralization in West Henan. Beijing: Seismological Press, 1~234 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Zhang Jing, Liu Congqiang, He Shundong. 2001. The lateral source of the continental oil—gas, China; An extension and application of the CPMF model. Geological Review, 47: 261~271 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Sui Yinghui, Pirajno F. 2003. Exclusive evidences for CMF model and a case of orogenic silver deposits: Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, East Qinling Orogen. Acta Petrologica Sinica, 19: 551~568 (in Chinese with English abstract).
- Cline J S, Hofstra A A. 2000. Ore-fluid evolution at the Getchell Carlin-type gold deposit, Nevada, USA. European Journal of Mineralogy, 12 (1): 195~212.
- Cromie P W, Zaw K. 2003. Geological setting, nature of ore fluids and sulphur isotope geochemistry of the Fu Ning Carlin-type gold deposits, Yunnan Province, China. Geofluids, 3 (2): 133~143.
- Ding Zhenju, Liu Congqiang. 1999. Geochemical characteristics of hydrothermal ferruginous silica rocks in Bikou Group: Implications for ancient geofluid processes. Acta Sedimentologica Sinica, 17: 706~711 (in Chinese with English abstract).
- Du Zitu, Wu Ganguo. 1998. Tectonic Dynamics and Tectono-metallogenic Dynamics of Gold Deposits in Western Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 1~145 (in Chinese).
- Emsbo F, Hutchinson R W, Hofstra A H, Volk J A, Bettles K H, Baschuk G J, Johnson C A. 1999. Syngenetic Au on the Carlin trend; Implications for Carlin-type deposits. Geology, 27 (1): 59~62.
- Emsbo P, Hofstra A H, Lauha E A, Griffin G L, Hutchinson R W. 2003. Origin of high-grade gold ore, source of ore fluid components, and genesis of the Meikle and neighboring Carlin-type deposits, northern Carlin trend, Nevada. Economic Geology, 98(6): 1069~1105.
- Fan Shuocheng, Jin Qin Hai. 1994. The Shuangwang gold deposit. In: Liu Dunsheng, ed. The Carlin-type (Fine-grain Disseminated) Gold Deposits in China. Nanjing University Press, 254~285 (in Chinese).
- Goldfarb R J, Groves D I, Cardoll S, et al. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geology Review, 18: 1~75.
- Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Wang Xueming, Shao Shicai, Lin Guofang, Shi Jianjun. 2003. Geology and metallogenesis of Liba large-size gold deposit in Lixian, Gansu province. Mineral Deposit, 22: 257~263 (in Chinese with English Abstract).
- Hofstra A H, Cline J S, 2000. Characteristics and models for Carlin-type gold deposits. SEG Reviews, 13: 165~220.
- Hsu K J, Sun S, Chen H H, Pen H H, Sengor A M C. 1988.

References

- Amer L, Tilton G R, Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino—Korean and Yangtze cratons: U—Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. Geology, 21: 33.
- Bache J J. 1987. World Gold Deposits: A Geological Classification. North Oxford Academic, London, 1~178.
- Bagby W C, Berger B R. 1985. Geologic characteristics of sediment-hosted, disseminated precious-metal deposits of the western United States. Reviews in Economic Geology, 2: 169~202.
- Boyle R W. 1979. The Geochemistry of Gold and Its Deposits. Canada Geological Survey Bulletin 280, Ottawa, 1~584.
- Cai Jinghui, Zhang Yeming, Fu Jianming, Chen Shengfeng. 1999. The genesis of the Yindonggou Ag—polymetallic deposit in the Northwest Hubei. Acta Geoscientia Sinica, 20 (Supp.): 316~320 (in Chinese with English abstract).
- Chavagnac V, Jahn B M. 1996. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie Mountains, China: Sm—Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. Chemical Geology, 133: 29~51.
- Chen Yanjing. 1996. Fluidization model for intracontinental collision

- Mesozoic overthrust tectonics in South China. *Geology*, 16: 418~421.
- Hu Shouxi, Lin Qianlong, Chen Zeming, Li Shimei. 1988. *Geology and Metallogeny of the Collision Belt Between the North and the South China Plates*. Nanjing University Press, 1~558 (in Chinese).
- Hu Shouxi, Wang Henian, Wang Dezi, Zhang Jingyong. 1998. *Geology and Geochemistry of Gold Deposits in East China*. Beijing: Science Press, 343 (in Chinese).
- Hu Shouxi, Zhao Yiyang, Xu Jinfang, Ye Ying. 1997. *Geology of Gold Deposits in North China Platform*. Beijing: Science Press, 1~220 (in Chinese).
- Huang Jie, Wang Jianye, Wei Longming. 2000. Geological characteristics and genesis of the Liba gold deposit, Gansu Province. *Mineral Deposit*, 19: 105~115 (in Chinese with English abstract).
- Ji Hongbing, Li Chaoyang, Wen Jinming. 1998. Source of ore-forming material and metallogenic age of the Zheboshan gold deposit, western Sichuan Province, China. *Chinese Science Bulletin*, 43: 684~690.
- Ji Hongbing, Wang Shijie, Wen Jinming. 1998. The metallogenic chronology for the Manaoke gold deposit in the northwestern Sichuan Province. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 43: 684~690 (in Chinese with English abstract).
- Kerrick 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.
- Lamb J B, Cline J. 1997. Depths of formation of the Meikle and Betze/Post deposits. In: Vikre P, Thompson T B, Bettles K, Christensen O, Parratt R, eds. *Society of Economic Geologists Guidebook Series*, 28: 101~107.
- Li Chao, Chen Yanjing, He Shundong. 2001. East Qinling—Dabieshan lithosphere delaminating age, mechanism and direction? petrological evidences and stipulation. *Chinese Journal of Geochemistry*, 20: 59~72.
- Li Fudong, Zou Xianghua, Gao Jipu, Lu Yao, Zhang Yuehong. 2001. On the rapid-positioning and prediction for micro-dissemination type (sedimentary rock host) gold deposits (ore bodies), Ma'anqiao. *Geology of Northwest China*, 34: 27~63 (in Chinese with English abstract).
- Li S G, Jagoutz E, Xiao Y L, Ge N J, Chen Y Z. 1996. Ultrahighpressure metamorphic chronology in the Dabie—Lu terrane: Sm-Nd isotopic system. *Science in China (Series D)*, 39: 597~609.
- Li S G, Sun W D, Zhang G W, Chen Y Z, Yang Y C. 1996. Chronology and geochemistry of metavolcanic rocks from Heigouxia Valley in the Mian—Lue tectonic zone, south Qinling—evidence for a Paleozoic oceanic basin and its close time. *Science in China (Series D)*, 39: 300~310.
- Li Yadong, Li Yingtao. 1994. Geological characteristics and metallogenic model of the La'erma fine-grain disseminated gold deposit, Gansu. In: Liu Dongsheng, ed. *The Carlin-type (Fine-grain Disseminated) Gold Deposits in China*, Nanjing University Press, 226~253 (in Chinese).
- Li Z P, Peters S G. 1998. Comparative geology and geochemistry of sedimentary-rock-hosted (Carlin-type) gold deposits in the People's Republic of China and in Nevada, USA. U.S. Geological Survey Open-file Report 98~466, 1~160.
- Liu Congqiang. 1987. Geochemistry and genesis of the Yindonggou lead—zinc—silver deposit. *Mineral Deposit*, 6(4): 53~61 (in Chinese with English abstract).
- Liu Congqiang. 1989. A fluid inclusion study of the Yindonggou Pb—Zn—Ag deposit in the northwest of Hubei Province. *Geochemica*, (2): 139~148 (in Chinese with English abstract).
- Liu Dongsheng, Tan Yunjin, Wang Jianye. 1994. Carlin-type gold deposits in China. In: Liu Dongsheng, ed. *The Carlin-type (Fine-grain Disseminated) Gold Deposits in China*, Nanjing University Press, 1~38 (in Chinese).
- Liu Miao. 1994. Geological characteristics of the Liba gold deposit. In: Liu Dongsheng, ed. *The Carlin-type (Fine-grain Disseminated) Gold Deposits in China*, Nanjing University Press, 160~202 (in Chinese).
- Ma Jianwei, Ao Hehui, Chen Shude. 1997. *Remote Sensing Geology of Gold Deposits in Qinling Mountains*. Beijing: Geological Publishing House, 1~188 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Qiu Y M, Goldfarb R J, Zhang Z C, Garwin S, Ren F S. 2002. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China. *Mineralium Deposita*, 37: 352~377.
- Muntean J. 2003. Models for Carlin-type gold deposits. Society of Economic Geologists Short Course on Gold Deposits, China University of Geosciences, October 25~26, 2003, 1~118 (Confidential document).
- Qi Jinzhong, Yuan Shisong, Li Li, et al. 2003a. Geological and geochemical studies of Yangshan gold deposit, Gansu province. *Mineral Deposit*, 22: 24~31 (in Chinese with English abstract).
- Qi Jinzhong, Yuan Shisong, Li Li, Sun Bin, Guo Junhua, Li Zhihong, Fan Yongxiang, Liu Wei, Gao Qiubin. 2003b. Geological Features and Ore-controlling Factors of the Yangshan Superlarge Gold Deposit, Gansu Province, China. *Geological Review*, 49(1): 85~92 (in Chinese with English abstract).
- Qin Zhengyong, Lei Shihe. 1996. new information on the ages of the Wudang Group --- with a discussion. *Regional Geology of China*, (2): 176~31 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Guozhu, Xu Kaili, Tao Xisen. 1993. Geological characteristics and metallogenic mechanism and model of the Donggouba Au—Ag—polymetals—barite deposit, Lueyang, Shaanxi. In: *Collections on Gold Deposits in the Qinling Dabashan Region*. Beijing: Geological Publishing House, 162~177 (in Chinese).
- Radtke A S, Rye R O, Dickson F W. 1980. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada. *Economic Geology*, 75: 644~672.
- Radtke A S, Scheiner B J. 1970. Studies of hydrothermal gold deposition (i)—Carlin gold deposit, Nevada: The role of carbonaceous materials in gold deposition. *Economic Geology*, 65: 87~102.
- Sengor A M C, Natal'in B A. 1996. Paleotectonics of Asia; fragments of synthesis. In: Yin A, Harrison T M, eds. *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge: Cambridge University Press, 486~640.
- Shao Shicai, Wang Dongbo. 2001. ^{39}Ar — ^{40}Ar dating of three typical gold deposits and its geological significance in the Southern Qinling Region. *Acta Geologica Sinica*, 75: 106~110 (in Chinese with English abstract).
- Si Guoqiang, Li Tongguo. 2000. On the geological characteristics and ore-controlling factors of the Lu'erba gold deposit. *Geology of Gansu*, 9: 59~65 (in Chinese with English abstract).
- Sun W D, Li S G, Chen Y D, Li Y J. 2002. Timing of synorogenic granitoids in the South Qinling, Central China: Constraints on the

- evolution of the Qinling—Dabie orogenic belt. *Journal of Geology*, 110: 457~468.
- Stenger D P, Kesler S E, Peltonen D R, Tapper C J. 1998. Deposition of gold in Carlin-type deposits: The role of sulfidation and decarbonation at Twin Creeks, Nevada. *Economic Geology*, 93 (2): 201~215.
- Tan Yunjin, Shao Shicai, Tian Minmin. 2000. Geological and geochemical characteristics of gold and lead—zinc deposits in Lixian—Taibai area, Western Qinling Mountains. *Mineral Deposit*, 19: 201~210 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ju. 1994. *Metallogenic Geochemistry of the Gold (Uranium) Deposits Hosted in the Carbonaceous Carbonate—Shale Association*. Beijing: Atomic Energy Press, 1~136 (in Chinese with English abstract).
- Wang Keyong. 2000. The geological conditions of formation and mineralization features of micro-fine disseminated gold deposits in China. *Geology of Precious Metals*, 9: 160~165 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ping'an, Chen Yuchuan, Pei Rongfu. 1998. *Regional Metallogenic Series and Tectono-Metallogenic Cycles and Evolution of the Qinling Orogen*. Beijing: Geological Publishing House, 1~161 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiang. 1996. *Orogeny and Metallic Metallogeny in Qinling*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 187~229 (in Chinese).
- Wang Xiaochun, Ye Shengping. 2001. On the relationship between geotectonic evolution and gold mineralization in western Sichuan. In: Chen Yanjing, Zhang Jing, Lai Yong, eds. *Continental Geodynamics and Metallogeny*. Beijing: Seismological Press, 153~161 (in Chinese).
- Wei Gangfeng, Jiang Xiudao, Liu Yonghua, Du Peixuan. 2000. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Huachanggou gold deposit. *Mineral Deposit*, 19: 138~146 (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, Tan Yunjin. 1997. Differences of micro- and fine-grained disseminated gold deposits between the Qinling area and the Yunnan—Guizhou—Guangxi contiguous area. *Geological Review*, 43: 420~427 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Lu Yilun, Tang Yaoqing, Mattauer M, Matte Ph, Malavieille J, Tapponnier P, Maluski H. 1986. Deformation characteristics and tectonic evolution of the eastern Qinling orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 60: 237~247 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin. 1986. Intracontinental subduction and decollement structure—Evidence from the crustal deformation of several mountains chains in China. *Geological Review*, 32: 79~89 (in Chinese with English abstract).
- Yan Shenghao, Wang Anjian, Gao Lan, Zhao Yanqing, Chen Guozhong. 2000. Geological characteristics and genesis of the Danshui type gold deposits. *Mineral Deposit*, 19: 126~137 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Xuecheng. 1997. The crustal structure of the Qinling orogen and wedging mountain building, *Acta Geologica Sinica*, 71: 227~235 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei, Han Qinwen. 2000. *Geochemistry of the Qinling Orogenic Belt*. Beijing: Science Press, 1~220 (in Chinese).
- Zhang En, Zhou Yongzhang, Guo Jian. 2001. Structures in the Baguamiao gold deposit of Shaanxi province and their ore-controlling role. *Mineral Deposit*, 20: 229~233 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fuxin, Chen Yanjing, Li Chao, Zhang Jing, Ma Jianqin. 2000. Geological and geochemical character and genesis of the Jinlongshan—Qilong gold deposits in Qinling orogen: Metallogenic mechanism of the Qinling-pattern Carlin-type gold deposits. *Science in China (Series D)*, 43(Supp.): 95~107.
- Zhang Fuxin, Ji Junliang, You Lingli, Fan Chunhua. 2001. Comparative features of Carlin—para-Carlin type gold deposits in the South Qinling and gold deposits in other areas. *Geological Reviews*, 47: 492~499 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fuxin, Ma Jianqin, Chen Yanjing. 1999. Study on geochemistry of gold and arsenic mineralization in Carlin type gold deposits, Qinling region. *Geochimica*, 28: 453~463 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fuxin, Wei Kuanyi, Ma Jianqin. 1997. *Geology and Prospecting of micro-disseminated (Carlin type) Gold Deposits in South Qinling*. Northwest University Press, Xi'an, 1~190 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fuxin. 2001. Types of gold deposits in the Qinling orogen and their geotectonic setting. In: Chen Yanjing, Zhang Jing, Lai Yong, eds. *Continental Geodynamics and Metallogeny*. Beijing: Seismological Press, 90~99 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, Sun Yong, Zhou Dingwu, Guo Anlin. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. *Science in China Series D*, 39: 225~234.
- Zhang Jing, Chen Yanjing, Shu Guiming, Zhang Fuxin, Li Chao. 2002. Compositional study of minerals within the Qinling granite, Southwestern Shaanxi and discussions on the related problems. *Science in China (Series D)*, 45: 662~672.
- Zhang Jing, Chen Yanjing, Zhang Fuxin, Li Chao. 2002. Geochemical study of ore fluid in Jinlongshan Carlin-type gold deposit belt in southwestern Shaanxi Province. *Mineral Deposit*, 21: 283~291 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shihong, Li Zhengxiang, Wu Huaichun, Wang Hongzhen. 2000. New paleomagnetic results from the Neoproterozoic successions in southern North China Block and paleogeographic implications. *Science in China (Series D)*, 43 (supp.): 233~244.
- Zhang X C, Spiro B, Halls C, Stanley C J, Yang K Y. 2003. Sediment-hosted disseminated gold deposits in Southwest Guizhou, PRC: Their geological setting and origin in relation to mineralogical, fluid inclusion, and stable-isotope characteristics. *International Geology Review*, 45 (5): 407~470.
- Zhang Xiaojun, Zhang Jun, Jia Yongsheng, Zhou Qiaowei. 2002. Geological and geochemical features of the Jinmuda gold deposit in northwestern Sichuan province. *Geology and Prospecting*, 38(3): 28~32.
- Zhang Zengjie, Chen Yanjing, Chen Huayong, Bao Jingxin, Liu Yulin. 2003. The petrochemical characteristics of the Hercynian granitoids in Tianshan and its geodynamic implications. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 23: 15~24 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan, Xu Jifeng, Yang Yongcheng, Wang Jinhui. 2002. Age of Anzishan granulites in the Mianxian—Lueyang suture zone of Qinling orogen: With a discussion of the timing of final assembly of Yangtze and North

- China craton blocks. Chinese Science Bulletin, 47: 1925~1930 (in Chinese).
- Zheng Minghua. 1994. Stratabound Gold Deposits of Exhalation Type and Turbidity Type. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 1~273 (in Chinese).
- Zhu Rixiang, Yang Zhenyu, Wu Hanning, et al. 1998. Paleomagnetic constraints on the tectonic history of the major blocks of China during the Phanerozoic. Science in China (Series D), 41(supp.): 1~19.
- Zou Haiyang, Chen Songling, Dai Tagen. 2000. Geology and ore-forming fluid types of the Linxiang gold deposit, Xunyang, Shaanxi. Geotectonica et Metallogenia, 24: 65~69 (in Chinese with English abstract).

Carlin and Carlin-like Gold Deposits in Western Qinling Mountains and Their Metallogenic Time, Tectonic Setting and Model

CHEN Yanjing^{1,2)}, ZHANG Jing²⁾, ZHANG Fuxin³⁾, Franco PIRAJNO⁴⁾, LI Chao²⁾

1) Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002

2) Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871; 3) Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069

4) Geological Survey of West Australia, 100 Plain Street, Perth, W.A 6004, Australia

Abstract

The Western Qinling Mountains is the largest but one metallogenic province of Carlin and Carlin-like gold deposits in the world. Inboard a continental collision orogen, the Western Qinling Carlin and Carlin-like gold province has different geological setting from Nevada and adjacent areas in western United States, the first largest worldwide Carlin and Carlin-like gold province, which is developed in a basin—range province behind an active marginal orogen. The Carlin and Carlin-like gold deposits in the Western Qinling Mountains are mainly hosted in Hercynian—Indosinian (from Devonian to Triassic) tectonostratigraphic unit developed in a foreland fold—thrust belt south of the Shangzhou—Danfeng Early Paleozoic geosuture. The country rocks are major of carbonaceous fine clastic—chemical sediments, including calcareous sandstones, silty carbonates, shales and cherts, deposited in lagoon—shallow sea environments, although a part of the country rocks was previously suggested as turbidite. Geochemical signature of Au—As—Sb—Hg—Ag ((Ba, Te, Pb—Zn), poor in Tl, characterizes most individual deposits. Sb, Hg, Ag, Pb—Zn and barite, and occasionally uranium, can be recovered as by—products. With metallogenic temperature of 160~300 °C, fluid salinity mainly of 4%~10% (NaCl_{eq}), pressure of 5~50 MPa and depth of 0.5~5 km, the gold deposits in Western Qinling Mountains are medium- or low-temperature mesozonal to epizonal deposits, consisting with those in Nevada. Ore-fluids are major of metamorphic and meteoric, despite magmatic fluid cannot be ruled out. High content of C₂H₆ shows that organic fluids contributed to gold metallogenesis. Histogram of isotope ages shows that metallogeny occurred in the period of 220~100 Ma, with a peak around 170 Ma. Metallogenic geodynamic setting was the transition from collisional compression to extension; and the CMF (collisional orogeny, metallogeny and fluid flow) model can be used to interpret the Carlin and Carlin-like gold mineralization in Western Qinling Mountains. During the collision between the South and North China continents, imbricate north-dipping underthrusting or intracontinental subduction occurred along regional faults such as Longmenshan fault, Ruo'ergai—Wenxian fault, Maqu—Mianxian—Lueyang fault, Bailongjiang fault, and Fengxian—Zhen'an fault. This caused intense crustal shortening, thickening and uplifting, as well as the followed slab delamination in Western Qinling Mountains. Metamorphic devolatilization and partial melting of the underthrust slabs led to the generation of ore-fluids and related melts. Upward migration of ore-fluids and related melts into favorable structural loci must result in formation of the Carlin and Carlin-like gold systems as well as the orogenic-type gold lodes. Additionally, a huge orogenic-type gold province is stipulated to be beneath the Carlin and Carlin-like gold province in Western Qinling Mountains.

Key words: Carlin and Carlin-like gold deposits; transition from compression to extension; metallogenic time; metallogenic model; Western Qinling Mountains