

陕西二台子铜金矿床钠长石碳酸(角砾)岩类特征及形成构造背景分析*

方维萱^{1,3} 张国伟² 胡瑞忠¹ 卢纪英³ 杨耀民³ 王瑞廷³

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002, E-mail: ore@public1.gy.gz.cn.

2. 西北大学地质学系, 西安 710069; 3. 西北有色金属地质勘查局, 西安 710054.

1. *Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;*

3. *Northwest Geological Exploration Bureau, CNNC, Xi'an 710054, China.*

1999-02-08 收稿, 2000-06-08 改回.

Fang Weixuan, Zhang Guowei, Hu Ruizhong, Lu Jiying, Yang Yaomin and Wang Ruiting. 2000. Analysis on tectonic background of formation and characteristics of albite carbonate brecciaite from Ertai Zi Cu-Au deposits in the Qinling orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3):392~400

Abstract Based on research on petrology, mineralogy, petrochemistry, geochemistry, and REE for albite carbonate brecciaite, geological and geochemical characteristic of albite carbonate brecciaites from Ertai Zi copper-gold deposits in the Qinling orogen have been discussed in the paper. From Late Devonian epoch to Carboniferous period, under tectonic formation of regional penetration of Mantle feather, hydrothermal fluids in depth upward alone pre-existing tectonic feeder and poured into Ertai Zi hydrothermal subbasin on the sea bed, so hydrothermal sedimentary rocks were formed and were controlled by synsedimentary faults and strata. These rocks which were main parts of gold source layer with gold mineralization consist of quartz barite carbonate breccia, carbonate breccia, poly-component breccia, albite, albite carbonate rock. In Yanshanian movement, in the intersections of NE trending fault, NW trending fault and EW trending fault, pre-existing hydrothermal brecciaite were superimposed by hydrothermal fluids which derived from regional penetration of Mantle feather, so albite carbonate breccia in barrel-shaped were formed. Copper-gold deposits hosted in Ertai Zi albite carbonate breccia in the Qinling orogen was formed by the same hydrothermal fluid.

Key words Albite carbonate brecciaite, Tectonic background, Diagenism-mineralization of hydrothermal fluid, Ertai Zi, Qinling orogen

摘要 从岩石学、矿物学、岩石化学、地球化学、稀土元素等方面研究了二台子铜金矿床钠长石碳酸(角砾)岩类地质地球化学特征。晚泥盆世-石炭纪,在区域幔羽构造作用下,深部热流体沿先存的构造通道上升进入镇安二台子三级热水沉积盆地之中,形成了石英重晶石碳酸角砾岩、碳酸角砾岩、复成分角砾岩、钠长岩、钠长石碳酸岩,受同生断裂及层位控制明显,并构成了金的矿源层及普遍金矿化。燕山期,具有幔源特征的深部含矿热流体在东北、北西向断裂与近东西向断裂构造交汇部位,形成了筒状钠长碳酸(角砾)岩,发生深源含矿热流体的叠加成矿作用,形成镇安二台子钠长石碳酸角砾岩型铜金矿床。研究表明本矿床深部及外围寻找超大型铜金(铂族元素)矿床有远景。

关键词 钠长碳酸质角砾岩类; 构造背景; 流体成岩成矿作用; 二台子; 秦岭造山带

中图法分类号 P588.34

* 本文研究由国家重大基础研究规划项目(G1999043200)及中国有色金属工业总公司人才培养基金资助。

第一作者简介: 方维萱, 男, 1961年生, 博士, 高级工程师, 现为中科院地化所博士后, 从事矿产勘查、沉积盆地与地质流体研究。

1 引言

秦岭造山带已引起国际地学界的关注和深入研究(Mattaure M *et al.*, 1985; Meng Qingren *et al.*, 1999),提出了秦岭造山带现今岩石圈表现为三维“立交桥式”流变学几何形态及造山细节过程(张国伟等, 1995a, Zhang Guowei *et al.*, 1995b, 1996a, 1996b)。在对秦岭一些重要岩石的岩石学及地球化学特征研究基础上,探讨它们形成的构造背景,从而深化了对区域构造演化的认识,取得显著的进展(周鼎武等, 1995, 刘良等, 1995; 张旗等, 1995; 张成立等, 1999)。在南秦岭南带中,碱性岩浆岩及碱性碳酸岩带主要分布在湖北庙垭-陕西安康,前人对其岩石学、岩浆起源及与矿产关系进行了深入研究,认为碱性岩浆岩及碱性碳酸岩带是在非造山环境下深部地幔碱性岩浆上侵所形成(邱家骥, 1993; 李石, 1995; 黄月华, 1993)。在南秦岭北带中,碱性钠长石碳酸(角砾)岩-铁白云石钠长石角砾岩带主要分布在山阳-凤镇-凤县泥盆纪同生断裂带及南北两侧附近的泥盆系中。在从东起商南县,西到凤县青崖沟,长约 400km 的范围内,已初步圈定出了 13 个含金角砾岩带。镇安县二台子钠长石铁白云石角砾岩型铜金矿、双王钠长石角砾岩型金矿以具有独特的特征及成因,为国内外地学界所关注(王俊发等, 1991; 李文亢等, 1993)。

地幔柱及热点构造是当前国际地学的科学前沿之一(mantle plume and hotspots, Anderson D L *et al.*, 1975, 1992; Gerlach T M, 1986; Cox K G., 1989; Bemis K G *et al.*, 1993; Abott D H, 1996),为研究金属矿产与深部构造关系提供了理论依据。当上升的地幔柱上覆大陆地壳的厚度较大时,富集深部热流体的地幔柱顶部(mantle plume head)与上覆大陆地壳发生幔-壳耦合及物质交换;同时,上升的地幔柱使大陆地壳变薄,发生伸展变形而形成盆-山构造。在大陆地壳的沉降区,伸展盆地底部可能发育热流柱(hydrothermal plume);在大陆地壳的上升区,厚度较大的大陆地壳在下伏热点构造(hotspots)作用下,导致热隆升形成一系列的垂向基底隆升(海岛);二者之间常发育剥离断层。幔-壳耦合的表现形式(自深部到大陆壳浅部)为:幔羽构造(mantle feather)及深源热流体侵位-伸展盆地底部热流柱(hydrothermal plume)-垂向基底隆升构造(hotspots)-热水沉积成矿盆地(hydrothermal depositional basin)(方维萱等, 1999a, 2000b)。

在热水沉积成矿盆地中,热水沉积岩相根据热水沉积岩的沉积学、矿物岩石学、地球化学等划分为六种亚相(方维萱等, 1999b, c, d, e, f; 2000c): ①钠长岩-似碧玉岩亚相; ②硅质铁白云岩-硅质岩亚相; ③镁铁碳酸岩亚相; ④重晶石岩亚相; ⑤黑云母方柱石-黑云母岩亚相; ⑥铁绿泥石岩亚相; ⑦白云岩-白云质灰岩亚相。

根据热水沉积岩相研究,结合现代陆相和海相热泉的水化学类型,因环境及化学成分不同,形成的热水场地球化学类型可划分(方维萱, 1999e): ①硫酸盐型热水场; ②碳酸盐型热水场; ③以 SiO₂ 酸酐型热水场型; ④富 Mg 重卤水型热水场; ⑤热卤水型热水场; ⑥硼硅酸盐型-铝硅酸盐型热水场。不同热水场地球化学类型划分有助于深入细致认识和分析热水成矿流体活动及演化规律。

在商南县-山阳-柞水-周至-凤县一带泥盆系中产出的长达 400km 钠长石铁白云石角砾岩-钠长石角砾岩带构造背景至今不明,在二台子铜金矿床成因类型上及成矿时代上分歧较大(王俊发等, 1991; 李文亢等, 1993; 方维萱等, 2000a)。研究该新类型铜金矿及其形成地质背景,不但有助于指导新类型铜金矿的地质找矿,而且有助于认识其形成的深部地质背景及秦岭造山带在海西晚期的造山细节过程。

本文以幔羽构造及流体地质理论为指导,从秦岭深部构造、热水成矿流体及热水沉积盆地分析(方维萱等, 1999a, b, e, f, 2000b)角度,对二台子铜金矿床中钠长石碳酸(角砾)岩类(容矿岩石)进行较系统的矿物学、岩石学、地球化学及构造地质学综合研究,探讨钠长石碳酸角砾岩类及其共生岩石特征形成与演化的构造地质背景,进而认识与幔羽构造有关的深源热流体成岩成矿作用。

2 地质特征

在二台子铜金矿区内,上泥盆统古道岭组主要碳酸盐岩沉积,上泥盆统二台子组主要为细碎屑岩沉积,钠长石类主要为一套泥盆纪热水沉积岩,广泛分布于镇安二台子三级热水盆地中。矿区位于小磨岭-磨沟峡复式背斜的南翼西干沟-东干沟次级背斜的南翼,断裂构造主要为东西向、北东向、北北东向三组断裂。东西向断裂由一系列平行的断层组成,构成宽近数百米的破碎带,倾向南,倾角 50°~80°。北东向、北北东向断裂多向东倾,倾角 60°~85°,延长 100~500m,最大者大于 1500m,断层面多光滑平直,具压扭性,错断东西向断裂。区内及外围岩浆活动强烈,加里东-海西期基性岩呈岩盆或岩株状产出。印支期以脉岩为主,主要有煌斑岩、钠长石斑岩及闪长玢岩,煌斑岩多沿北北东向断裂贯入,切穿角砾岩及矿体,为成矿期后的产物,钠长石斑岩分布于辉绿岩的边部。

北带角砾岩产于 F3 断裂破碎带中,长 1100m,宽 50m。主要金矿体均产于此带中。共圈出 11 个矿体,以 I 号矿体规模最大。Au 平均品位为 7.87g/t, Cu 品位为 0.48%~31.87%。矿体呈筒状、板状及脉状,延深大于延长。矿石类型有黄铁矿型角砾状金矿石、含铜黄铁矿型角砾状脉状金矿石和富铜黄铁矿型铜金矿石为主,局部产有富金铁锰碳酸盐化蚀变岩型金矿石。主要金属矿物有自然金、黄铁矿、黄铜矿、砷黝铜矿。金矿化作用主要产于角砾中(局部形成富金铁砷

酸盐蚀变体中为富金蚀变岩,未见角砾状构造,多为脉状构造,而胶结物中矿化较弱(王俊发等,1991)。角砾中含金黄铁矿为微粒状、浸染状、稠密浸染状、脉状。表现为热流体的渗滤交代-充填作用所形成,明显受角砾岩石的孔隙度所控制,含 Au 70.2g/t~149.2g/t。黄铁矿粒度较小,多在0.03mm以下,而大于0.05mm者则较少见。胶结物中黄铁矿含量较低,Au在3.83g/t~13.01g/t,结晶颗粒较粗大,多在0.03mm~0.5mm,最大者可达5mm。

3 钠长石碳酸(角砾)岩

3.1 岩石类型及特征

角砾岩类:

(1)角砾特征:角砾的形状有两大类,(a)棱角状-次棱角状角砾呈不规则状、板条状及次棱角状,一般粒径较大,1cm~10cm角砾常见,可出现1~2m的粗角砾,局部有较大的岩块。角砾成分比较复杂,以碳酸盐岩(灰岩及白云岩)、细碎屑岩类(板岩、干枚岩类)为主,可见到少数石英钠长岩角砾,角砾的成分主要与上、下盘围岩的成分一致。(b)浑园状角砾呈浑园状、椭圆状、扁豆状为主,一般粒径较小,多在5cm以下,常见粒径为0.5cm~2cm,以钠长岩类、碳酸岩类为主,常见熔蚀现象。围绕角砾常有环带状的黄铁矿,这种角砾中含较多的黄铁矿(呈浸染状、条带状、细脉状产于角砾中),有部分二次角砾化的早期角砾岩常含黄铁矿较高。

(2)胶结物特征:胶结物以铁白云石、重晶石、方解石、钠长石、石英为主,其次为黄铁矿、绢云母、绿泥石、微量金红石及硫化物。胶结物充填分布于角砾和裂隙中,并有较明显的交代作用,胶结物均系从热流体中沉淀所形成的热液产物。

早期(晚泥盆世-石炭纪)热水角砾岩是从直接热水中沉积。其中石英重晶石铁白云石角砾岩呈灰色,色调较暗;以悬浮式胶结为主,角砾较细且呈浑园状,含量较少;胶结物占60%~80%,胶结物以重晶石、铁白云石、绢云母、绿泥石、黄铁矿为主。在东西向断裂中的这种角砾岩因受近南北向(印支期)挤压应力的强烈作用而发生碎裂岩化、片理化,胶结物和角砾进一步被错碎。

晚期(燕山期)热流体角砾岩(呈筒状)的胶结物直接从热流体中晶出,呈灰白色,色调较浅;以铁白云石、方解石、钠长石为主,呈空隙式、悬浮式胶结;角砾的砾径较小,多呈棱角状-次棱角状,胶结物含量40%~70%;胶结物的结晶颗粒较大,晶形良好,说明有充足的结晶时间和空间,角砾及胶结物本身缺少构造应力作用的痕迹(如碎裂、变形),两侧围岩有角砾化现象,与成矿流体的沸腾、隐爆作用密切相关。在这两期的角砾岩中,发育网脉状、脉状沿剪切裂隙充填的铁白云石碳酸盐脉。局部形成富金铁碳酸盐蚀变体,不规则脉状或网脉状蚀变体中金品位高,多在10g/t以上,但分布仅限于北东向、北西向断层及裂隙中,是一种富金蚀变岩型金矿石。

(3)角砾岩类型:角砾岩是一个经过多次构造作用和多期多阶段热液叠加复合体,成分复杂,根据角砾、胶结物及岩石化学成分,划分为如下几种类型:石英重晶石铁白云石角砾岩、碎裂岩化铁白云石角砾岩、钠长石石英铁白云石角砾岩、复成分铁白云石角砾岩、铁白云石钠长石角砾岩。

(4)角砾岩体的产状有三种类型:(a)沿东西向断层分布,大致与地层产状一致,主要为石英重晶石铁白云石角砾岩、碎裂岩化铁白云石角砾岩、钠长石石英铁白云石角砾岩。(b)围绕加里东期辉绿岩、寒武系岩块而呈环状、半环状分布,主要为复成分铁白云石角砾岩。(c)在北东向断裂与东西向断裂的交汇部位呈岩筒状产出,为主要含金角砾岩。

钠长岩类及钠长石碳酸岩:钠长岩类包括有石英钠长岩、绢云母钠长岩、铁白云石钠长岩、钠长岩。呈似层状产出,块状、条带状、条纹状构造,花岗变晶结构,常见斜层理、水平层理、递变层理和包卷层理等现象。该类岩石坚硬,常位于角砾岩体的外侧底盘围岩中,大致呈顺层展布,有些地段呈脉状产出,与地层有一定交角。脉状钠长岩是热水充填交代作用的产物,因铁白云石、白云石比例增加可变化为钠长石碳酸岩脉。

钠化岩类:钠化岩类一般分布于角砾岩体的外侧地层中,有钠化白云岩、石英钠长岩化大理岩、钠化大理岩、钠质板岩、钠化绢云母板岩、钠化粉砂岩等。与角砾岩体构成了明显的水平分带,如8线从角砾岩筒中心向外分带为:角砾岩→破碎带→钠化白云岩+大理岩→石英钠长岩→石英钠长岩化大理岩→绿泥石蛇纹石化大理岩,钠化主要是热水的钠质交代作用所形成,交代结构发育。

方解石重晶石岩类:因方解石、重晶石两种矿物含量变化,出现重晶石岩-方解石重晶石-重晶石方解石岩-方解石岩,它们多呈脉状、网脉状、团块状、不规则状产出,局部有重晶石矿体。方解石在碳酸盐岩中形成大量的脉体,含量可达10%~20%,形成方解石化岩石。

3.2 岩石化学特征

岩石化学样品的采样分析程序为:在仔细研究观测角砾岩类地质特征的基础上,对不同期次的角砾岩类及其共生岩石,采取五点样品组合,对组合样(重1.0kg)粗碎到-80网目后,采用四分法缩分,取500g作正样送化学定量分析,化学分析结果见表1。

从表1看:早期(晚泥盆世-石炭纪)形成的石英重晶石铁白云石角砾岩中, BaSO_4 可达15.6%, SiO_2 、 MgO 、 CaO 、 K_2O 含量较高,含Au可达 530×10^{-9} 。这类角砾岩在印支期主造山过程中普遍经受了近南北向挤压应力作用,劈理化、片理化、碎裂岩化发育。在东西走向的断层内经碎裂岩化后(Ab30), SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 CO_2 、 H_2O^+ 含量升高。岩石中硅化、碳酸盐化、绢云母、水云母化发育,特别是断裂带内的水化作用是十分强烈地,使 H_2O^+ 增加了7.74%,这主要是由水云母化而使 H_2O^+ 增加,反映构造带内有十分强烈的

表 1 镇安二台子金矿床岩石化学分析成果(%)

Table 1 Petrochemistry of rocks for Ertaizi gold deposits, Zheng'an (%)

样号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	H ₂ O [±]	BaSO ₄	BaO	Au ×10 ⁻⁹	Σ	资料来源
Ab31	早期石英重晶石 铁白云石角砾岩	31.45	0.30	5.87	2.67	1.87	0.18	6.76	12.06	0.06	1.72	18.01	1.38	15.60		530	97.60	
A540	早期复成分 铁白云石角砾岩	15.07	0.21	4.41	1.05	5.82	0.24	12.05	23.42	2.58	0.06	34.06	0.74			2.04	99.71	
A539	早期钠长石 石英碳酸岩脉	30.08	0.43	8.68	1.89	2.87	0.12	9.70	16.41	5.28	0.06	23.42	0.40				99.36	本文
Ab30	碎裂岩化碳酸 质角砾岩	37.01	0.43	8.44	1.41	1.87	0.11	8.06	14.38	0.04	0.41	19.04	9.12		0.00	8.26	99.88	
A541	钠长石英铁白云 石角砾岩(晚期)	28.36	0.49	9.19	2.03	3.04	0.18	9.07	17.39	4.42	0.58	24.58	0.08				100.13	本文
Ab32	白云岩化 结晶灰岩	3.08	0.05	1.05	0.64	1.19	0.11	3.12	47.97	0.20	0.03	39.97	0.46		0.00	10.88	97.51	
Ab34	结晶灰岩	0.76	0.00	0.51	0.11	0.11	0.02	0.67	53.80	0.02	0.10	42.88				4.69	98.93	本文
双王	钠长岩 (n=7)	64.25	0.68	17.88	0.77	0.49	0.01	0.35	1.49	9.07	0.94						99.59	李文 亢等
双王	铁白云质钠 长岩(n=6)	61.48	0.34	13.70	2.20	2.55	0.03	2.55	4.70	4.18	2.08						99.89	1993

分析单位：西安地质矿产研究所；化学定量分析；n 代表样品数；空格为未分析项目

构造流体活动，并使岩石中 BaSO₄、Au、K₂O 发生显著地活化、迁移。晚期(燕山期)形成的钠长石英铁白云石角砾岩，Al₂O₃、FeO、CaO、MgO、Na₂O、CO₂ 含量与早期相比明显增高，而 SiO₂、K₂O、H₂O[±] 降低。从角砾岩→白云岩化结晶灰岩→结晶灰岩，SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MnO、MgO 依次降低，反映在早期(晚泥盆世-石炭纪)上述元素对结晶灰岩有明显的交代作用。围岩蚀变主要为硅化、铁白云石化、白云石化；CaO、CO₂ 含量依次增高，指示了热水同生交代作用逐渐减弱。双王金矿床是赋存于钠长石角砾岩筒中的一种新类型金矿(李文亢等,1993)，本区的角砾岩、钠长石英碳酸岩脉与双王金矿床中钠长岩、铁白云质钠长岩相比，明显地富 MgO、CaO、MnO，而低 SiO₂、TiO₂、Al₂O₃，说明双王金矿床中钠长石的比例较大，而本区碳酸盐矿物(如白云石-铁白云石-锰铁白云石)比较发育，显示了富锰铁镁碳酸盐型流体活动的特征。

4 矿物学特征

4.1 碳酸盐矿物特征

从表 2 看：方解石中 CaO 含量在 52.43%~53.19%，低

于方解石 CaO 的理论值(CaO 56.06%)和纯净方解石中 CaO 含量(中国地质科学院,1978)，含有较高的 MgO、MnO，含微量 Sr、Au、Pt、BaO。早期方解石以自形晶出现在胶结物中；晚期方解石以方解石脉、方解石岩及方解石化(网脉状)形式赋存于金、铜矿体的近矿围岩中，并有辰砂-方解石脉穿插分布于金矿体中。白云石中含 MgO 在 14.21%~19.99%，含有不等量的 FeO、MnO，并形成铁锰白云石、含铁白云石、铁白云石。白云石是本区广泛分布的一种脉石矿物，在含矿钠长碳酸质角砾岩中，白云石环带结构发育，内带中白云石组成，含 FeO、MnO 较低，不含 Au；外环带为铁锰白云石，FeO、MnO、Au 含量明显升高，反映了围绕先存的白云石由从第二次富 FeO、MnO、Au 的含矿热流体晶出铁锰白云石。在钠长石英碳酸岩脉中主要以白云石、铁白云石为主，未见方解石。戈德史密斯(Goldsmith J R,1969；转引薛君治等,1986)正式提出了方解石-白云石地质温度计，它是 400℃以上的高温温度计，而 400℃以下的低温温度计由詹宁斯(Jennings D S,1969)和谢派德(Sheppard S F,1970)相继得到了同样的测温公式(转引薛君治等,1986)，

$$\log(X_{Mg}^{Cc} \times 10^3) = (1.727 \times 10^{-3}t) - 0.223$$

经计算早期灰色石英重晶石铁白云石角砾岩的方解石-含铁白云石的形成温度为 570℃，含矿钠长铁白云石角砾岩

表 2 镇安二台子金矿床碳酸盐矿物成分的电子探针分析结果(%)

Table 2 Analysis results of electronic probe for carbonate minerals from Ertaizi gold deposits, Zheng'an (%)

编号	地质产状	测定矿物	MgO	CaO	FeO	SrO	MnO	BaO	Au	Pt	Pd	Pb	Cu	Σ
ER44	含矿钠长铁白	方解石	0.49	52.43	0.02	0.26	2.96	0.04	0.76	0.29	0.00	0.00	0.11	57.34
ER45	云石角砾岩	白云石	20.75	33.66	0.39	0.13	0.39	0.10	0.45	0.40	0.06	0.10	0.00	56.42
ER47		白云石(内环带)	19.99	33.58	5.52	0.16	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	56.72
ER48		铁锰白云石(外环带)	14.21	28.45	3.65	0.26	7.91	0.00	0.57	0.00	0.00	0.11	0.00	55.16
A6351	早期灰色石英重晶石	方解石	1.15	53.19	0.07	0.21	0.32	0.04	0.19	0.26	0.05	0.00	0.00	55.47
A6316	铁白云石角砾岩	含铁白云石	19.95	31.04	6.11	0.02	0.29	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	57.76
A5392	早期钠长石英碳酸岩脉	白云石	19.95	33.85	2.22	0.06	0.18	0.14	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	55.73
A5392		铁白云石	14.51	31.38	10.42	0.14	0.18	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	56.73

测定单位:西安地质矿产研究所;电子探针分析条件:电压 15kV,电流 20nA,束斑 3μm; ZAF 校正。

的形成温度为 345 C。

4.2 硅酸盐矿物特征

硅酸盐矿物主要有钠长石、铁-透长石、钾长石、绢云母、绿泥石、黑云母,其化学成分见表 3。早期灰色石英重晶石碳酸质角砾岩中基本没有钠长石,而且含 Na₂O 低,含 K₂O 可达 1.72%,镜下发现钾长石、铁-透长石呈晶屑状产于胶结物中,铁-透长石中 MgO、FeO 含量均较高,与钾长石共生。绢云母呈针状、束状分散于角砾及胶结物中,钾长石、铁-透长石在后期富 Na 碳酸盐型流体的交代作用下均被 Na 交代而形成了钠长石,说明早期角砾岩的胶结物中不含钠长石。在晚泥盆世-石炭纪,由富 Mg、Fe 的碳酸盐型热水同生沉积形成沉积物(岩)封存了热水喷溢口,随后沿同生断裂上升富 Ba 的硫酸盐型热水;因压力超过流体临界压力而发生热水爆炸形成石英重晶石铁白云石角砾岩。在碎裂岩化碳酸质角砾岩中有残存的钠长岩角砾,是由富钠铝硅酸盐型热水同生沉积形成的富金钠长岩而角砾岩化后所形成。A630B 样品中钠长石含有较高的 Au,这种钠长石在构造流体作用下发生

绢云母化,有较高的 H₂O 参与则发生水云母化,而使 Au 活化、迁移。钠长石英碳酸岩脉中主要组成矿物为钠长石、白云石、铁白云石、石英,钠长石含量可达 20%~40%,也是本区含 Na₂O 最高的岩石。钠长石中 Na₂O 含量也是最高,钠长石以自形晶中粒状,主要成分为 Na₂O、Al₂O₃、SiO₂,其它组分含量甚微。

4.3 硫化物特征

从表 4 看黄铁矿中含 Se 较高,显示了火山热液作用有关的特点,含 As 0.83%~0.76%。磁黄铁矿中含 As 4.37%。这两种矿物中均含有微量的 Au、Pd、Ag。它们以园球状、浑园状稠密浸染于角砾中,局部角砾中含量可达 50%~80%。根据黄铁矿-磁黄铁矿中 Ni、Co 分配温度计(薛君治等,1986)计算本区该矿物对形成温度在 555 C~668 C 之间,反映其形成温度较高(本区这两种矿物中 Co、Ni 含量均小于 1.5%,满足计算要求)。本区重晶石中含 SrO 较高,含微量的 Pb、Pt、Pd、Au、Ag,说明重晶石晶出时成矿流体中上述元素浓度较高。

表 3 镇安二台子金矿床中硅酸盐矿物成分的电子探针分析结果(%)

Table 3 Analysis results of electronic probe for silicate minerals from Ertaizi gold deposits, Zhengan (%)

编号	地质产状	测定矿物	MgO	CaO	FeO	TiO ₂	BaO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Au	Pt	Pd	Cr ₂ O ₃	Σ
A5393	钠长石石英	钠长石	0.06	0.05	0.23	0.00	0.01	9.13	20.22	68.92	0.08	0.00	0.00	0.00		98.69
A5394	碳酸岩脉	钠长石	0.02	0.05	0.04	0.00	0.00	11.55	20.40	68.30	0.08	0.00	0.00	0.01		100.45
A630A	碎裂岩化角砾岩	钠长石	0.01	0.04	0.00	0.02	0.02	10.32	20.16	69.35	0.00	0.00	0.00	0.02		99.93
A630B	中钠长岩角砾	钠长石	0.05	0.12	0.06	0.01	0.00	6.15	20.80	70.64	0.01	1.03	0.00	0.02		98.90
A631A	早期灰色重晶	铁-透长石	2.79	0.10	2.51	0.18	0.00	0.05	19.92	67.41	8.52		0.00		0.04	101.51
A631B	石英铁白云石	钾长石	0.55	0.09	0.50	0.06	0.10	0.22	28.59	58.19	8.24		0.04		0.44	97.00
A631C	角砾岩	绢云母	2.05	1.73	1.19	0.70	0.00	0.13	31.02	47.14	10.12		0.46		0.66	95.18

测定单位:西安地质矿产研究所;电子探针分析条件:电压 15kV,电流 20nA,束斑 3μm; ZAF 校正;空格为未测定项目。

表4 镇安二台子金矿床硫化物成分的电子探针分析结果(%)

Table 4 Analysis results of electronic probe for sulfide minerals from Ertaizi gold deposits(%)

编号	地质产状	测定矿物	S	Fe	Cu	Co	Ni	As	Pb	Se	Pt	Pd	Au	Ag	Σ
ER4	含矿	黄铁矿	53.52	42.93	0.04	0.07	0.10	0.83	0.10	1.36	0.00	0.16	0.00	0.00	99.11
A631	角砾岩	黄铁矿	53.35	44.59	0.02	0.04	0.03	0.76	0.00	1.91	0.00	0.15	0.06	0.12	101.46
ER4		磁黄铁矿	35.86	56.20	0.15	0.01	0.07	4.31	0.00	1.33	0.00	0.08	0.15	0.08	98.24
编号	地质产状	测定矿物	SO ₃	BaO	Cu	CaO	SrO	Pb	Pt	Pd	Au	Ag	Σ		
ER4	含矿角砾岩	重晶石	35.68	61.44	0.00	0.04	2.85	0.56	0.14	0.13	0.78	0.02	101.61		

测定单位：西安地质矿产研究所；分析条件：电压 15kV，电流 20nA，束斑 3μm；ZAF 校正

5 地球化学特征

5.1 流体包裹体特征

据李文亢等(1993)研究,成矿流体有如下特征:(1). 流体组分富 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻、H₂O、CO₂, 游离氧含量低,基本上为还原环境。(2). 不同成矿阶段流体的组分有明显变化,成矿前的流体中 SO₄²⁻、Cl⁻、F⁻、Na⁺ 含量高,尤其 SO₄²⁻ 浓度很高,有类似热卤水的特征,属 Na-Ca-Mg-SO₄²⁻-Cl-F 型。成矿期流体中 CO₂、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ 含量明显增高,CO₂/H₂O 比值最大,Na⁺ 含量也明显增高,说明与富 CO₂、Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 的流体有着直接联系,该期成矿流体中气体的总量是最高的。(3). 成矿流体从成矿前到成矿后向酸度增加的方向演化,是可能消耗大量碱质所致。成矿前的成矿流体中富 SO₄²⁻,本次工作发现成矿前的早期灰色石英重晶石碳酸盐角砾岩,重晶石以胶结物形式出现,含 BaSO₄ 高达 15.60%,这与包裹体富 SO₄²⁻ 是相吻合的,说明确有富 Ba²⁺、SO₄²⁻ 的酸性、氧化态流体。成矿期包裹体中 SO₄²⁻ 急剧降低,是因为形成了大量 BaSO₄ 沉淀而消耗了 Ba²⁺、SO₄²⁻。成矿期包裹体中 Mg²⁺、Ca²⁺、CO₂、H₂O 的浓度明显较高,而岩石化学分析显示了高 MgO、CaO、CO₂ 特点,二者相吻合,说明了成矿期流体是富 Ca、Mg、Fe、Mn 的碳酸盐型热水流体,形成大量的白云石、铁白云石、环带状铁锰白云石、方解石等碳酸盐矿物。

5.2 稀土元素特征

本区热水沉积岩中 ΣREE 含量在 47.499 × 10⁻⁶ ~ 123.94 × 10⁻⁶,正常海水沉积的结晶灰岩中 ΣREE 含量最低,为 9.331 × 10⁻⁶,而蚀变白云岩中稀土总量最高。早期热水沉积岩中 ΣLREE/ΣHREE 比值为 2.978,经受印支期构造流体改造后,ΣLREE 明显降低,ΣHREE 略有升高,ΣLREE/ΣHREE 比值为 0.795,反映稀土元素发生了分异,ΣLREE 发生富集。本区的角砾岩及脉岩与沉积岩、蚀变白云岩有不同和稀土组成及比值,说明这些角砾岩是由热水及热流体所形成,与正常沉积作用差异较大。本区稀土以钬亏损型、铈富集型、轻稀土相对富集为总体特征。

6 流体成岩成矿作用的构造背景分析

6.1 成岩成矿物质来源

早期石英钠长石铁白云石角砾岩中普遍具有金矿化,含金 0.1 × 10⁻⁶ ~ 0.6 × 10⁻⁶,金主要赋存于重晶石、黄铁矿、碳酸盐矿物及钠长石中,为后期金的活化、富集成矿提供了物质基础,构成了金的矿源层。

硫同位素显示了属陨硫和壳源硫的混合特点,氢、氧同位素说明了成矿流体中 H₂O 主要是岩浆水、变质水及大气降水,碳同位素指示了本区碳主要来自地幔(李文亢等,1993;王俊发等,1991),矿物中含有不等量的幔源特征元素 Pt、Pd。综上所述,本区成岩成矿物质具有多来源的特点,并且有地幔物质参与和来自地幔的碱性碳酸岩有关流体。

6.2 成岩成矿地球化学环境

早期(晚泥盆世-石炭纪)石英重晶石铁白云石角砾岩是成矿前形成于二台子三级热水沉积盆地之中。Fe²⁺/Fe³⁺ < 1.0, pH 为 4.88,富 SO₄²⁻、F⁻、Cl⁻、Na⁺ 离子,有食盐类子晶多相包裹体(子矿物中淡黄色钾盐,呈近等轴的园形,李文亢等,1993)说明流体含盐度较高,这与热水中富 Cl⁻ 离子特点相一致。海底热水具有酸性、氧化态特征,成岩温度在 570 °C。

6.3 成岩成矿时代

早期(晚泥盆世-石炭纪)形成灰色石英重晶石铁白云石角砾岩、复成分碳酸盐角砾岩及钠长岩,呈层状、似层状分布;钠长石石英碳酸岩呈脉状大致顺层分布,局部为穿层分布,它们受层位控制明显。在山阳一带的钠长石碳酸(角砾)岩类中,Rb-Sr 等时线年龄为 364.9 ± 10.9Ma(李勇等,1999)。在印支期,位于近东西向断裂带内的角砾岩发生碎裂岩化,显示了近南北向挤压应力的作用,煌斑岩脉多沿北北东向断裂贯入,切穿角砾岩及矿体,煌斑岩中黑云母的 K-Ar 年龄为 210.8Ma(李文亢等,1993)。上述特点说明本区受层位控制的角砾岩带赋存于中泥盆统古道岭组,受近东西向同生断裂的控制,说明形成于晚泥盆世,并且有高铀特点。北东东向、北东向断裂是燕山期所形成,在与近东西向断裂的交

表5 二台子金矿床热水沉积岩的稀土元素组成及比值

Table 5 Contents and ratios of REE for hydrothermal rocks from Ertaizi Cu-Au deposits

岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sc
早期石英钠长石碳酸岩脉	8.94	17.60	3.20	9.76	2.44	0.463	2.39	0.519	4.22	0.529	1.54	0.196	1.46	0.244	15.04	7.22
早期复成分铁白云石角砾岩	8.94	17.60	3.20	9.76	2.44	0.463	2.39	0.519	4.22	0.529	1.54	0.196	1.46	0.244	15.04	7.22
早期灰色石英重晶石 铁白云石角砾岩	16.64	26.85	6.25	11.92	2.28	0.369	1.89	0.420	3.43	0.233	0.97	0.139	0.614	0.146	9.10	4.16
碎裂岩化碳酸盐角砾岩	4.07	9.00	1.24	5.62	1.10	0.079	1.75	0.106	3.36	0.318	1.18	0.120	0.831	0.265	11.28	7.18
晚期钠长石英碳酸盐角砾岩	3.44	8.54	0.894	5.92	1.03	0.394	1.74	0.408	3.53	0.284	1.13	0.158	1.14	0.246	11.61	1.96
蚀变白云岩	20.11	39.37	5.70	28.00	5.69	1.26	4.69	0.232	6.76	0.106	1.93	0.139	0.776	0.171	6.44	1.70
白云岩化结晶灰岩	5.83	10.58	0.675	3.39	1.66	0.386	1.35	0.106	1.87	0.031	0.444	0.120	0.400	0.013	6.33	0.561
远矿结晶灰岩	2.00	4.49	0.000	1.00	0.115	0.008	0.00	0.000	0.00	0.014	0.000	0.100	0.061	0.014	1.50	0.029
岩性	ΣREE		ΣLREE/ΣHREE		ΣLREE	ΣHREE	Eu/Sm	Ce/Y	σ_{Eu}	σ_{Ce}						
早期石英钠长碳酸岩脉	99.51		1.17		53.60	45.942	0.190	12.05	0.192	2.90						
早期复成分铁白云石角砾岩	85.411		2.978		63.94	21.471	0.162	43.73	0.177	2.35						
早期灰色石英重晶石铁白云石角砾岩	75.761		1.24		41.94	33.821	0.190	12.05	0.192	2.90						
碎裂岩化铁白云石角砾岩	47.499		0.795		21.03	26.469	0.072	10.83	0.055	3.39						
晚期钠长石英碳酸盐角砾岩	42.424		1.17		44.69	38.208	0.383	7.49	0.284	3.94						
蚀变白云岩	123.944		4.085		98.87	24.204	0.221	50.73	0.243	3.05						
白云岩化结晶灰岩	33.746		1.906		22.135	11.611	0.233	88.17	0.256	3.25						
远矿结晶灰岩	9.331		4.406		7.605	1.726	0.070	44.90	0.139	4.49						

分析单位:西安地质矿产研究所;分析方法:等离子光谱定量分析

结点上,分布有呈筒状的钠长石英铁白云石角砾岩,并且有低 As、高 Hg 特点,可见辰砂矿化。它形成于燕山期,虽产于东西向断裂带中(与北东向断裂交结点),但未见有碎裂岩化、片理化。发育两组剪切张裂隙,并充填有石英-方解石脉,显示受到平移剪切作用的应力作用,与其相伴的有钠长斑岩、钠长石碳酸岩脉及铁碳酸盐脉。

6.4 二台子三级热水沉积盆地

二台子三级热水盆地形成:晚泥盆世,山阳-凤镇同沉积断层在镇安二台子一带发生了强烈伸展作用,在深部地质作用配合下发生裂隙,形成了二台子三级盆地,发育在镇安一级盆地的东北边缘上(方维萱,1999b)。上泥盆统古道岭组发育一套滑塌同沉积构造及滑塌角砾岩,由砾状灰岩、鲕状灰岩、含砾屑灰岩及瘤状灰岩组成,显示了快速沉降和垂向加积,粉砂岩、泥质岩、薄层灰岩、粉砂质白云岩组成的复理石建造,炭质含量逐渐增高(石墨层),反映了盆地不断加深、沉积充填,并成为滞流还原性盆地。东西向同生断裂横贯盆地中心,沿其上升的热水进入了沉积盆地,形成了二台子三级热水盆地,沿同生断裂形成热水(角砾)岩带。

三级热水沉积盆地中热水成岩成晕作用:晚泥盆世-石炭纪时,先期进入盆地的富 Na 碳酸盐型热水因温压条件改

变而发生同生沉积,形成顺层分布钠长石英碳酸岩,多位于矿体下盘围岩中发育的同生断裂中,并发生了较强的同生沉积交代作用,形成了钠长岩化、白云岩化、蛇纹石化及钠化板岩、白云岩化碳酸盐岩。热水同生沉积作用发生于运移通道中(同生断裂),向四周发生了强烈的热水同生交代作用,并封存了热水喷溢通道。随后上升的硫酸盐型热水是富 BaSO₄ 的酸性、氧化态热水,富 Fe、Mg、碳酸盐型热水,因先存的沉积物(岩)封闭喷溢通道口,在临界状态下发生了隐爆作用,形成了复成分角砾岩。角砾成分有板岩类、碳酸盐脉、白云岩蚀变岩、石英钠长岩等多种岩性。热水爆炸作用导致了两类热水的混合,形成了灰色重晶石碳酸盐角砾岩,发生了 Ba、Sr、F、Au、As、Sb、Hg 的广泛成晕作用,形成了金的矿源层。晚泥盆世-石炭纪在沉山阳-凤镇-凤县同生断裂附近,深部幔羽构造的构造-热化学作用下(方维萱等,1999a),发生强烈的碱性热流体活动。由于此时,泥盆纪沉积盆地已处于封闭状态,上侵的热流体必须冲破未完全凝固的上覆沉积物层围岩,必需要有较大内压力,因热流体中富 CO₂ 及超临界 H₂O,导致了区域性的碱性热流体隐爆侵位,这正好是从伸展构造向压缩构造的转换时期。

6.5 印支期近东西向角砾岩带的变形特征

印支期,扬子板块、秦岭地块依次向华北板块斜向俯冲,

已形成的角砾岩在近南北构造应力的作用发生碎裂岩化、片理化,在 H_2O 的大量加入后,形成了构造流体,使 Au 发生活化、迁移。近东西向分布的角砾岩带(层)随地层而发生褶皱变形,这也说明它们形成于印支期以前。

6.6 燕山期深源碱性热流体叠加成岩成矿

在沿凤县-山阳-商南深大断裂带附近可能存在着一个近东西向线状幔羽,形成与地幔碱性(超基性岩浆衍生物)碳酸岩及带状高温热流体场。在陆内俯冲碰撞造山作用下,它们受挤压应力作用下而向上沿大断裂发生大规模上升运移,从而形成了近东西 400km 长的角砾岩带,富 H、O、C、Mg、Fe、 CO_3^{2-} 、 Na_2CO_3 的高温热流体在上升过程中不断与围岩发生强烈的物质交换,发生浅成隐爆作用和水压致裂。主成矿期的流体压力为 $1400 \times 10^{-5} Pa$ (李文亢等,1993),带来了丰富的 Au、Pt、Pd,早期角砾成分中的黄铁矿在热流体中成为 As、Au、Pt、Pd 的捕获器,强烈的交代作用使黄铁矿中富集 Au。Pt、Pd 在黄铁矿、碳酸盐矿物中富集,形成氟碳铈矿等稀土矿物及辰砂-方解石脉。燕山期在东北向,北西向断裂及裂隙中发生热流体叠加成矿作用,形成含金角砾岩筒,富金铁碳酸盐蚀变体网脉及脉状富铜金矿。

7 结束语

镇安二台子铜金矿床是热流体成矿作用的典型代表,晚泥盆世-石炭纪,海底热水在二台子三级热水盆地中,沿同生断裂及其附近形成了一套热水沉积岩,并形成了金的矿源层。印支期,在俯冲碰撞造山作用下,近东西向断裂带内的金矿源层在构造流体的作用下发生了 Au 的活化、迁移。燕山期深部东西向幔羽形成(富 H、O、C、Mg、Mn、Fe、 CO_3^{2-} 、 Na_2CO_3)高温热流体,沿东西向凤县-山阳-商丹深大断裂大规模上升运移,带来了丰富的 Au、Pt、Pd 等幔源型微量元素。含矿热流体在地表发生浅成隐爆和液压致裂作用,形成了“二台子型”钠长石碳酸(角砾)岩型铜金矿,二台子矿区深部及外围具有寻找大型铜金(铂族元素)矿床的远景。

References

Abott D H. 1996. Plumes and hotspots as sources of greenstone belts. *Lithos*, 37(2~3):113~128
 Anderson D L, Tanimoto T and Zhang Y-S. 1992. Plate tectonics and hotspots. *Science*, 256: 1645~1651
 Anderson D L. 1975. Chemical plumes in the mantle. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86: 1593~1600
 Bemis K G, von Herzen R P and Mottl M J. 1993. Geothermal heat flux from hydrothermal plumes on the Juan de Fuca Ridge. *J. Geophys. Res.*, 98: 6351~6365
 Chinese Academy of Geological Sciences. 1978. Indexes of microtexture for mineral. Beijing: Geological Publishing House,

130~158
 Cox K G. 1989. The role of mantle plumes in the development of continental drainage patterns. *Nature*, 342: 873~876
 Fang Weixuan, Huang Zhuanyin, Wang Ruiting and Yang Honglin. 2000a. Research on mineral geochemistry for copper-gold deposits, Ertaizi, Zhenan County, Qinling orogen. *Acta Mineralogica Sinica*, 20(3) (in press)
 Fang Weixuan and Zhang Guowei. 2000b. Characteristics and implication of extensions tectonics at the upper Palaeozoic in the Qinling orogenic belts. *Acta Northwest University Sinica*, (in press)
 Fang Weixuan, Zhang Guowei and Lu Jiying. 2000c. On classification and characteristics of the Devonian hydrothermal sedimentary facies in the Qinling orogen. *Geology and Prospecting*, (in press)
 Fang Weixuan, Lu Jiying and Zhang Guowei. 1999a. On metallogenic system of continental dynamics and characteristics of metallogenic series and prospecting orientation in the South Qinling and its vicinity area. *Northwest Geoscience*, 20(2):1~17 (in Chinese with English abstract)
 Fang Weixuan. 1999b. The evolutions and characteristic of ore-forming fluid and tectonic basin with hydrothermal sedimentary mineralization in the Devonian in the Qinling orogen, China. (Ph. D. dissertation), Northwest University, 3~72 (in Chinese with English abstract)
 Fang Weixuan. 1999c. Characteristics of sedimentary facies of hydrothermal for Qindongshan giant lead-zinc ore deposits, Feng County, Shaanxi Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1): 44~50 (in Chinese with English abstract)
 Fang Weixuan, Zhang Guowei and Huang Zhuanyin. 1999d. Characteristics of bariteolites and diagenism-metallogenesis for superlarge silver-polymetallic deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 484~491 (in Chinese with English abstract)
 Fang Weixuan. 1999e. Discuss on model of fluid dynamics for hydrothermal water system and geochemical patterns of paleo-hydrothermal fluid in the Qinling orogen-the analysis and approach of sedimentary basin with hydrothermal deposition (part II). *Northwest Geoscience*, 20(2):17~27 (in Chinese with English abstract)
 Fang Weixuan. 1999f. Approach on sedimentary basin with hydrothermal deposition in the Qinling orogen. *Northwest Geoscience*, 20(2):28~41 (in Chinese with English abstract)
 Gerlach T M. 1986. Exsolution of H_2O , CO_2 and S during eruptive episodes at Kilauea volcano, Hawaii. *J. Geophys. Res. Lett.*, 91:12177~12185
 Huang Yuehua. 1993. Mineralogical characteristics of phlogopite-amphibole-pyroxenite mantle xenoliths included in the alkali mafic-ultramafic subvolcanic complex from Langao County, China. *Acta Petrologica Sinica*, 9(4): 367~378 (in Chinese with English abstract)
 Li Shi. 1991. Time and genesis of alkaline rock in E'bei area. *Acta Petrologica Sinica*, 8(3): 27~36 (in Chinese with English abstract)
 Li Wenkang, Fang Yongan, Shi Zhunli and Fan Shuocheng. 1993. Metallogenic condition of fine disseminated gold deposits in the East Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 30~90 (in

Chinese)

- Li Yong, Su Chunqian and Liu Jiqing. 1999. Characteristics and genesis of the albite in the East Qinling orogenic belt. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(2): 12~18
- Liu Liang, Zhou Dingwu, Dong Yunpeng, Zhang Hongfa, Liu Yangjie and Zhang Zejun. 1995. High pressure metabasites and their retrograde metamorphic *PTt* path from Songshugou area, eastern Qinling mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2):127~136
- Mattaure M, Matte P, Malavieille J, Tappornier P, Maluski H, Xu Z, Lu Y and Tang Y. 1985. Tectonics of the Qinling belt: buildup and evolution of eastern Asia. *Nature*, 317:496~500
- Meng Qingren and Zhang Guowei. 1999. Timing of collision of the north and south China blocks: controversy and reconciliation. *Geology*, 27(2): 123~126
- Qiou Jiexiang. 1993. Alkaline rocks in Qinling-Bashan. Beijing: Geological Publishing House, 1~68 (in Chinese with English abstract)
- Wang Junfa, Zhang Fuxin, Yan Jincai and Cheng Ling. 1991. Devonian strata-bound metal deposits in Qinling. Xi'an: Publication House of Shaanxi Scientific and Technology, 54~57 (in Chinese)
- Xue Junzhi, Bai Xuerang and Cheng Wu. 1986. Genetical Mineralogy. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences, 93~96 (in Chinese)
- Zhang Chengli, Zhou Dingwu, Jin Hailong, Han Song and Liu Yingyu. 1999. Study on the Sr, Nd, Pb and O isotopes of basic dyke swarms in the Wudang block and basic volcanics of the Yaolinghe Group. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3):430~437 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Liu Futian, Xiao Qinghui and Meng Qingren. 1996a. Three-dimensional architecture and dynamic analysis of the Qinling orogenic belt Science in China (Series D), 39(Supp.):1~7(in Chinese)
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, Sun Yong, Zhou Dingwu and Guo Anlin. 1996b. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen. *Science in China (Series D)*, 39(3): 225~234 (in Chinese)
- Zhang Guowei, Zhang Zhongqing and Dong Yunpeng. 1995a. Tectonic nature and geotectonic implication of tectono-lithostratigraphic unit in the Qinling orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2):101~114(in Chinese with English abstract)
- Zhang Guowei, Xiang Liwen and Meng Qinren. 1995b. The Qinling orogen and intracontinental orogen mechanism. *Episodes*, 18(1&2):36~39
- Zhang Qi, Zhang Zhongqing, Sun Yong and Han Song. 1995. Trace element and isotopic geochemistry of metabasalts from Danfeng Group in Shangxian-Danfeng, Shaanxi province. *Acta Petrologica Sinica*, 11(1): 43~54 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Dingwu, Zhang Zejun, Dong Yunpeng and Liu Liang. 1995. Geological and geochemical characteristics on Proterozoic Songshugou ophiolite piece from Shangnan County, Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 11(supp.): 155~164(in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 方维萱, 卢纪英, 张国伟. 1999a. 南秦岭及邻区大陆动力成矿系统及成矿系列特征与找矿方向. *西北地质科学*, 20(2):1~16
- 方维萱. 1999b. 秦岭造山带泥盆纪构造热水沉积成矿盆地与流体成岩成矿特征及其演化规律. [博士论文], 西北大学地质系, 3~72
- 方维萱. 1999c. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征. *沉积学报*, 17(1):44~50
- 方维萱. 1999d. 银洞子-大西沟特大型矿床中重晶石岩类特征及成岩成矿作用. *岩石学报*, 15(3): 484~491
- 方维萱. 1999e. 秦岭造山带古热水场地球化学类型及流体动力学模型探讨-热水沉积成矿盆地分析与研究方法之二. *西北地质科学*, 20(2): 17~27
- 方维萱. 1999f. 秦岭造山带中热水沉积成矿盆地的研究思路与方法初探-兼论秦岭超大型金属矿集区的研究与勘查. *西北地质科学*, 20(2): 28~41
- 方维萱, 黄转莹, 王瑞庭, 杨宏林. 2000a. 秦岭造山带二台子铜金矿床矿物地球化学研究. *矿物学报*, 20(3): (印刷中)
- 方维萱, 张国伟. 2000b. 南秦岭晚古生代伸展构造特征及意义. *西北大学学报(自然科学版)*, (待刊)
- 方维萱, 张国伟, 芦纪英. 2000c. 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. *地质与勘探*, (待刊)
- 黄月华. 岚皋碱性镁铁-超镁铁质潜火山杂岩中金云母角闪辉石岩类地幔捕虏体矿物学特征. *岩石学报*, 1993, 9(4):367~378
- 李石. 1991. 鄂北地区碱性岩的时代及成因. *岩石学报*, 8(3):27~36
- 李文亢, 方永安, 石准立, 樊硕诚等编著. 1993. 秦岭东部微细粒金矿成矿条件. 北京:地质出版社, 34~90
- 李勇, 苏春乾, 刘继庆. 1999. 东秦岭造山带钠长岩的特征、成因及时代. *岩石矿物学杂志*, 18(2):12~18
- 刘良, 周鼎武, 董云鹏, 张宏发, 刘养杰, 张泽军. 1995. 东秦岭松树沟高压变质基性岩石及其退变质作用的 *PTt* 演化轨迹. *岩石学报*, 11(2):127~136
- 邱家骧. 1993. 秦巴碱性岩. 北京:地质出版社, 1~68
- 王俊发, 张复新, 炎金才, 陈苓著. 1991. 秦岭泥盆系层控金属矿床. 西安:陕西科学技术出版社, 54~74
- 薛君治, 白学让, 陈武编著. 1986. 成因矿物学. 武汉:中国地质大学出版社, 93~96
- 张成立, 周鼎武, 金海龙, 韩松, 刘颖宇. 1999. 武当地块基性岩墙群及耀岭河群基性火山岩的 Sr, Nd, Pb, O 同位素研究. *岩石学报*, 15(3):430~437
- 张国伟, 郭安林, 刘福田, 肖庆辉, 孟庆任. 1996a. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析. *中国科学*, 39卷(增刊):1~7
- 张国伟, 孟庆仁, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 1996b. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. *中国科学(D)*, 39(3):225~234
- 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 1995a. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. *岩石学报*, 11(2):101~114
- 张旗, 张宗清, 孙勇, 韩松. 1995. 陕西商县-丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学. *岩石学报*, 11(1):43~54
- 中国地质科学院编. 1978. 透明矿物显微鉴定表. 北京:地质出版社, 130~158
- 周鼎武, 张泽军, 董云鹏, 刘良. 1995. 东秦岭商南松树沟元古宙蛇纹岩片的地质地球化学特征. *岩石学报*, 11(增刊):155~164