

河南王坪西沟铅锌矿床流体包裹体特征和矿床成因类型*

姚军明^{1,2} 赵太平¹ 魏庆国¹ 原振雷³

YAO JunMing^{1,2}, ZHAO TaiPing¹, WEI QinGuo¹ and YUAN ZhenLei³

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2. 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093

3. 河南国土资源地质科学研究所, 郑州 450053

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3. Academy of Land and Resources of Henan Province, Zhengzhou 450053, China

2008-06-30 收稿; 2008-08-03 改回.

Yao JM, Zhao TP, Wei QG and Yuan ZL. 2008. Fluid inclusion features and genetic type of the Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9): 2113–2123

Abstract The Wangpingxigou Pb-Zn deposit in Henan Province is located to the north of the Checun-Lushan fault along the southern margin of North China Craton. The deposit is a fault-controlled vein-type deposit, hosted in Mesoproterozoic strata. The ores mainly consist of sulfides, quartz and carbonate minerals. Ore-forming process includes three stages marked by three kinds of parageneses: An early quartz-pyrite stage, an intermediate polymetallic sulfide ore stage and a late barren carbonate stage. Microthermometric data of fluid inclusions indicate that ore-forming fluids are CO₂-H₂O-NaCl ± CaCl system. In hydrothermal quartz and sphalerite three types of fluid inclusions can be observed. They are CO₂-H₂O type, daughter mineral-bearing and NaCl-H₂O solution. However, the CO₂-H₂O type fluid inclusions are mainly observed in the early stage. From early to late stages, homogenization temperatures of fluid inclusions decrease from 280 ~ 386°C, through 180 ~ 350°C, to 120 ~ 230°C; Salinities change from 3% ~ 7% NaCl eqv., through 3.55% ~ 17.43% NaCl eqv., to 3.06% ~ 13.51% NaCl eqv. In the middle stage, Pb and Zn are mainly mineralized and the calcite daughter minerals in fluid inclusions can be recognized. The CO₂-H₂O fluid inclusions coexist with the vapor and liquid-rich fluid inclusions. Fluid inclusions with contrasting salinities are homogenized to divergent phase at similar temperature. These phenomena strongly suggest that fluid-boiling occurred in the middle stage and resulted in CO₂-release and rapid precipitation of ore-forming material. All the above suggest that the Wangpingxigou deposit is a typical case of orogenic-type Pb-Zn lodes formed during transition from collisional compression to extension and can be genetically addressed using the tectonic model for collisional orogeny, metallogeny and fluid flow (CMF model).

Key words Wangpingxigou Pb-Zn deposit; Fluid inclusion; Orogenic-type Pb-Zn deposit; East Qinling Orogen; CMF model

摘要 王坪西沟铅锌矿床隶属于东秦岭外方山铅铝锌多金属成矿区,位于车村—鲁山断裂北侧。矿床赋存于中元古代熊耳群鸡蛋坪组火山岩系中,受断裂控制,呈脉状产出;矿石主要由金属硫化物,少量石英和碳酸盐组成;成矿过程分为早、中、晚三个阶段,分别以石英—黄铁矿组合、金属硫化物和碳酸盐为标志。流体包裹体研究表明,成矿流体为 CO₂-H₂O-NaCl ± CaCl₂ 体系,石英或闪锌矿中可见 CO₂-H₂O 型、含子晶型和水溶液型三类包裹体,CO₂-H₂O 型包裹体集中在早阶段产出。早、中、晚阶段流体包裹体均一温度分别为 280 ~ 386°C、180 ~ 350°C 和 120 ~ 230°C,从早到晚逐渐降低;盐度分别集中在 3% ~ 7% NaCl eqv.、3.55% ~ 17.43% NaCl eqv. 和 3.06% ~ 13.51% NaCl eqv.。含子晶型流体包裹体主要出现在中阶段,子晶为方解石,该阶段为成矿主要阶段,可见 CO₂-H₂O 型包裹体与富液相水溶液包裹体共存,均一温度相近,指示流体沸腾,

* 本文得到国家 973 项目 2006CB403502 课题、河南省科技攻关项目(豫财招标采购(2006)26407 号)、国家自然科学基金项目(40730421)和南京大学成矿作用研究国家重点实验室开放基金(13-7-11)资助。

第一作者简介:姚军明,男,1970 年生,博士,矿床学专业, E-mail: junming_yao@yahoo.com.cn

发生 CO₂ 的逃逸,成矿物质快速沉淀。总之,王坪西沟铅锌矿床地质特征与造山型矿床一致,成矿机理可由碰撞成岩成矿与流体作用(CMF)模式所解释。

关键词 王坪西沟铅锌矿床; 流体包裹体; 造山型铅锌矿; 东秦岭; CMF 模式

中图法分类号 P618.4; P618.51

1 引言

在铅锌矿产资源中,喷流沉积(Sedex)型和密西西比河谷(MVT)型铅锌矿床以其巨大的规模和稳定的层位成为勘查和研究的主要目标。而脉状铅锌矿床因储量规模小、矿体产状变化复杂、开采难度大而被忽视。然而,经过多年的地质勘探,东秦岭地区陆续有中-大型乃至超大型脉状铅锌矿床被发现,如河南洛宁县铁炉坪大型脉状银铅锌矿床(Chen *et al.*, 2004, 2005)、内乡县银洞沟大型银铅锌矿床(张静等, 2004, 2007; Zhang and Chen, 2005)、栾川县冷水北沟超大型脉状铅锌银矿床(祁进平等, 2007)等,这些大型、超大型脉状铅锌矿床的陆续发现、勘查和研究突破了人们的传统观点,拓宽了找矿思路,激发了研究脉状铅锌矿床的热情。

东秦岭是我国著名的多金属成矿省,而外方山是东秦岭地区重要的钼金银铅锌多金属矿集区之一(图 1A)。在外方山地区的汝阳县南部,新发现了东沟超大型斑岩钼矿床(付治国, 2005; 叶会寿等, 2006),王坪西沟、西灶沟、老代仗沟等中型—大型的脉状铅锌银多金属矿床(图 1A),以及大批小型矿床和矿点。随着矿床的不断发现,一些学者开始探讨外方山地区的成矿规律,黄任远等(1992)曾认为存在元古宙和燕山晚期两次成矿事件;陈衍景和富士谷(1992)则认为研究区的后生矿床(特别是浆控系列和断控系列)主要形成于中生代,并和扬子与中朝板块的碰撞造山作用有关;燕长海(2004)、王长明等(2005)、马红义等(2006a, b)及刘永春等(2007)认为研究区的脉状铅锌矿床与燕山期岩浆活动有成因联系,但不少矿区甚至其外围较大范围内没有燕山期岩浆岩发育。总体而言,与外方山地区的矿床勘查进展相比,矿床地质地球化学和成矿规律研究薄弱,至今尚未确定矿床的成因类型、成矿时代、成矿地质条件等,故急需加强研究。

汝阳县王坪西沟铅锌矿床资源量已达大型规模,是外方山地区脉状铅锌矿的典型代表,也是研究探讨外方山矿集区脉状铅锌矿床成因类型和成矿规律的理想对象。因此,我们对王坪西沟矿床开展了综合地质地球化学研究,但鉴于矿床地质和流体包裹体特征是判定矿床成因类型的关键(Memagh *et al.*, 2007; 陈衍景等, 2007 及其引文),本文重点介绍流体包裹体研究成果,并据此探讨矿床成因类型和成矿机制。

2 区域地质背景

外方山矿集区位于华北克拉通南缘的华熊地块东端,夹

持于栾川断裂之北、三宝断裂之南(图 1A)。区域地层由基底和盖层两部分组成。结晶基底为早前寒武纪太华超群中高级变质岩系(Chen and Zhao, 1997),盖层为中元古界熊耳群火山岩(赵太平等, 2007)。熊耳群火山岩在外方山矿集区广泛发育,也是多数矿床的直接赋矿围岩,主要岩性为安山岩、英安岩类,岩石化学成分以富铁、高钾、低铝为特征,属高碱质的钙碱性系列,其形成构造背景有三种解释:一是大陆裂谷(孙枢等, 1981; Zhao TP *et al.*, 2002; Peng *et al.*, 2008);二是大陆边缘岩浆弧(胡受奚, 1988; 贾承造等, 1988; 陈衍景等, 1992; Zhao GC *et al.*, 2002, 2004; He *et al.*, 2008);三是地幔柱岩浆活动(Pirajno and Chen, 2005; Hou *et al.*, 2008)。

矿集区岩浆侵入活动主要有元古宙和中生代两次,元古宙侵入岩主要为石英二长岩,多呈岩脉或岩株,锆石 U-Pb 同位素年龄为 1750Ma(作者未刊数据)。中生代燕山期岩浆活动以发育花岗岩类为特征,以合峪、太山庙花岗岩基为代表,合峪复式花岗岩基形成于晚侏罗世—早白垩世,太山庙花岗岩体的锆石 SHRIMP 铀铅年龄为 115 ± 2 Ma(叶会寿, 2006)。一般认为燕山期岩浆活动与成矿关系密切,外方山矿集区的绝大多数矿床分布在太山庙花岗岩的北侧,脉状铅锌矿床均分布在太山庙花岗岩以北约 10km 范围内。

矿集区断裂构造十分发育,主要以北西向、近东西向及北东向为主(图 1A)。北西向断裂分别为杨坪—王坪断裂和靳村—南洞沟断裂;近东西向断裂常表现为多条断裂组成的断裂束/带,是脉状铅锌矿床最重要的控矿构造;北东向断裂分布广泛,局部形成断裂束,多控制燕山期花岗岩脉、岩枝或小岩株分布。

3 矿床地质特征

王坪西沟铅锌矿床查明(Pb + Zn)金属储量为 63.28 万吨,达大型规模。矿体定位于近东西向破碎带内,近平行排列,在矿区内延长 500m ~ 1700m,宽 3m ~ 16m,倾向一般为 345°,局部倾向南,倾角 65° ~ 85°,局部直立。容矿断裂在走向和倾向上均呈舒缓波状,常有膨缩及分支复合现象;断裂带内常见构造挤压透镜体、挤压片理、碎裂岩、构造角砾岩、糜棱岩等,有时发育脉岩、多期次的脉状或透镜状石英脉、方解石脉等。

已知工业矿体赋存于 P2、P3、P4、P5、P7 等蚀变破碎带中(图 1B)。以 P4 矿带规模最大(图 2),矿体长 1330m;走向和倾向上分支复合现象明显,向东尖灭于地表,向西未封闭,平均厚 6.04m;垂向延深大,未见尖灭现象;平均品位 Pb 为

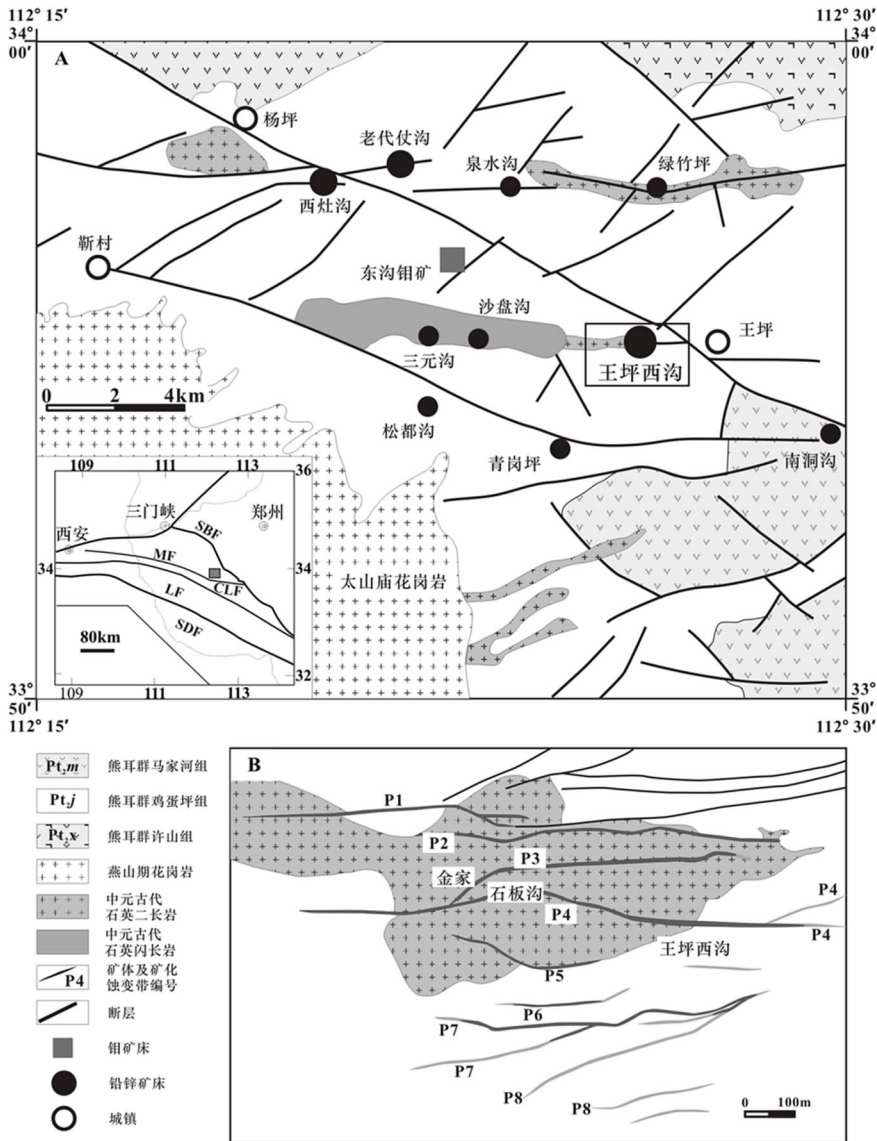


图1 河南汝阳南部区域地质图(A)及王坪西沟铅锌矿地质图(B) (据马红义等2006a, b 修编)

SBF-三宝断裂; MF-马超营断裂; CLF-车村—鲁山断裂(马超营断裂的东延); LF-栾川断裂; SDF-商丹断裂

Fig.1 The geological map of Southern Ruyang County in Henan Province (A) and Wangpingxigou Pb-Zn deposit (B) (Modified after Ma *et al.*, 2006a, b)

SBF-Sanbao fault; MF-Machaoying fault; CLF-Checun—Lushan fault; LF-Luanchuan fault; SDF-Shangdan fault

5.80×10^{-2} , Zn 为 3.70×10^{-2} , 铅锌金属量达 42.86 万吨, 占矿床总金属量的 68%。

矿体围岩主要为石英二长闪长岩, 次为熊耳群鸡蛋坪组英安岩、玄武安山岩等。近矿围岩一般为绢英岩、碎裂岩、构造角砾岩等。矿石矿物组合以方铅矿、闪锌矿为主, 次为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿, 少量白铁矿、斑铜矿; 氧化矿石矿物主要有褐铁矿、软锰矿; 脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石、白云石、方解石等。硫化物一般为半自形—他形粒状结构、交代结构、角砾状结构等, 主要以细脉浸染状、块状、条带状产出。围岩蚀变主要有绢英岩化、硅化、绿泥石化、碳酸

盐化, 多呈线型沿构造破碎带发育。根据脉体之间的穿切关系, 矿石结构和矿物组合及其特征, 初步确定王坪西沟铅锌矿床热液成矿过程包括早、中和晚 3 个阶段: (1) 黄铁矿—石英阶段(热液早阶段), 主要矿物为石英、黄铁矿等(图 3A); (2) 多金属硫化物阶段, 矿物组合主要为闪锌矿—方铅矿—黄铁矿, 含石英、黄铜矿等, 是最主要的成矿物质沉淀富集阶段(图 3B, C); (3) 晚阶段以碳酸盐—石英网脉为特征, 它们多沿裂隙充填, 充填于张性裂隙者具有梳状或晶簇构造。

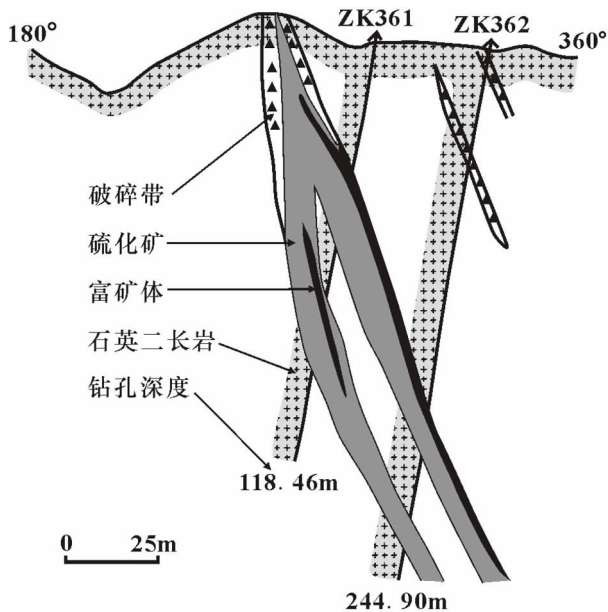


图2 河南汝阳王坪西沟铅锌矿 P4 矿体 36 勘探线剖面图(据马红义等,2006a)

Fig. 2 The prospecting 36 line profile map of P4 orebody in Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Ruyang County in Henan Province (Modified after Ma *et al.*, 2006a)

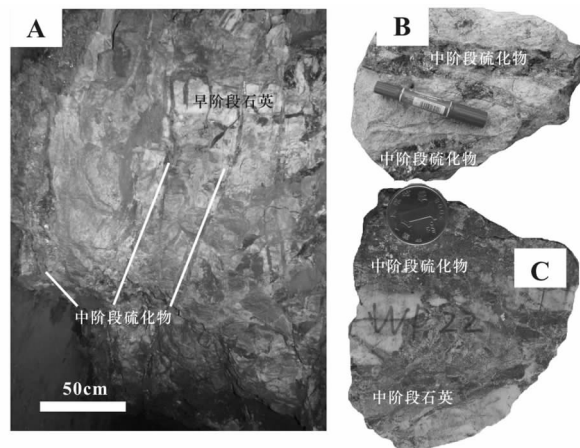


图3 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床矿石组构特征

Fig. 3 Ore fabrics of the Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Ruyang County in Henan Province

4 流体包裹体研究

4.1 研究方法

流体包裹体显微测温分析在中国科学院广州地球化学研究所运用 LINKAN MDS 600 型冷热台完成,以 FLUIDINC 公司的人工合成流体包裹体标定冷热台温度。流体包裹体测试过程中,升或降温速率为 $0.2 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$,相变点附近升或降温速率 $< 1^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

激光拉曼光谱(LRM)在中国科学院广州地球化学研究所完成,仪器为 Renishaw 公司的 RM-2000 型激光拉曼光谱仪,光源为 514nm 氩激光器,计数时间为 10s,每 1cm^{-1} (波数)计数 1 次, $100 \sim 4000\text{cm}^{-1}$ 全波段一次取峰,激光束斑约为 $1\mu\text{m}$ 。

4.2 包裹体类型及组合

本文研究样品主要采自王坪西沟铅锌矿床的 P4 矿体,包括了不同成矿阶段的样品。共选择 16 件样品磨制双面抛光的 20 件包裹体片用于矿相学和流体包裹体岩相学观察,对有代表性的 10 件包裹体片进行了显微测温 and 激光拉曼探针分析。各阶段石英和中阶段闪锌矿均大量发育流体包裹体。石英中的包裹体成群分布,多呈椭圆形,长轴从 $< 5\mu\text{m}$ 到 $30\mu\text{m}$,气泡大小为 10vol% ~ 80vol%。其中,乳白色石英的包裹体含量高,但体积偏小 ($< 5\mu\text{m}$),不利于显微测温;与多金属硫化物共生的石英颗粒中的包裹体呈单个孤立分布,或多个随机分布,气泡大小 10 vol% ~ 80vol%。包裹体多数属于原生或假次生包裹体 (Roedder 1984);次生包裹体群呈线型切穿一个甚至多个石英晶体,单个包裹体体积小 ($< 5\mu\text{m}$)、气泡小 ($< 5\text{vol}\%$)。闪锌矿中没有观察到次生包裹体群,所见包裹体为原生或假次生,形状为三角形、椭圆形和长条形等,负晶形包裹体呈正方形或六边形等,长轴从 $< 10\mu\text{m}$ 到 $50\mu\text{m}$,个别达 $80\mu\text{m}$ (图 4A, B, C, D)。受闪锌矿 $\{110\}$ 解理影响,部分包裹体透明度不均匀,加热过程中气泡移动到黑暗处,增加了获得均一温度的困难。

根据室温下包裹体的相态、冷冻和加热过程中的相变及激光拉曼光谱特征,可将包裹体分为水溶液、含子晶和 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 等三类。

(1) 水溶液包裹体: 见于成矿各阶段,石英和闪锌矿中均有发育,个体一般在 $5\mu\text{m} \sim 35\mu\text{m}$,以长条形、椭圆形、负晶形和不规则形状为主。室温下为气液两相,气液比变化大,集中于 3% ~ 10% 或 30% ~ 45%。

(2) 含子晶包裹体: 除一例见于闪锌矿之外,此类包裹体均见于早阶段和中阶段石英晶体中,晚阶段矿物中也没有发现。包裹体大小一般为 $5\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$,多呈椭圆形或不规则形状;子晶较小,呈乳白色或无色透明(图 4G),激光拉曼光谱鉴定为方解石(图 5A, C, E, H)。闪锌矿中的一例含子晶包裹体呈正方形的负晶形,个体较大 ($35\mu\text{m}$),所含子晶也较大 ($10\mu\text{m}$),子晶为透明的四边形,正交偏光镜下干涉色高,激光拉曼光谱鉴定为方解石(图 4B, 图 5D)。

(3) $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体: 此类包裹体含量较少,见于早阶段石英中,个体在 $7\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$,近圆形、椭圆形,室温下多呈三相 ($V_{\text{CO}_2} + L_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$), CO_2 相 ($L_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}_2}$) 常占 55vol% 以上,其中 V_{CO_2} 常占 CO_2 相的 80vol% 以上(图 4E, F, 图 5A, B, F)。个别此类包裹体含方解石子晶(图 4E, 图 5A, B, C, E, F)。

总体而言,石英与闪锌矿中发育不同类型的包裹体组合,早、中阶段石英中的原生包裹体主要为水溶液型,次为

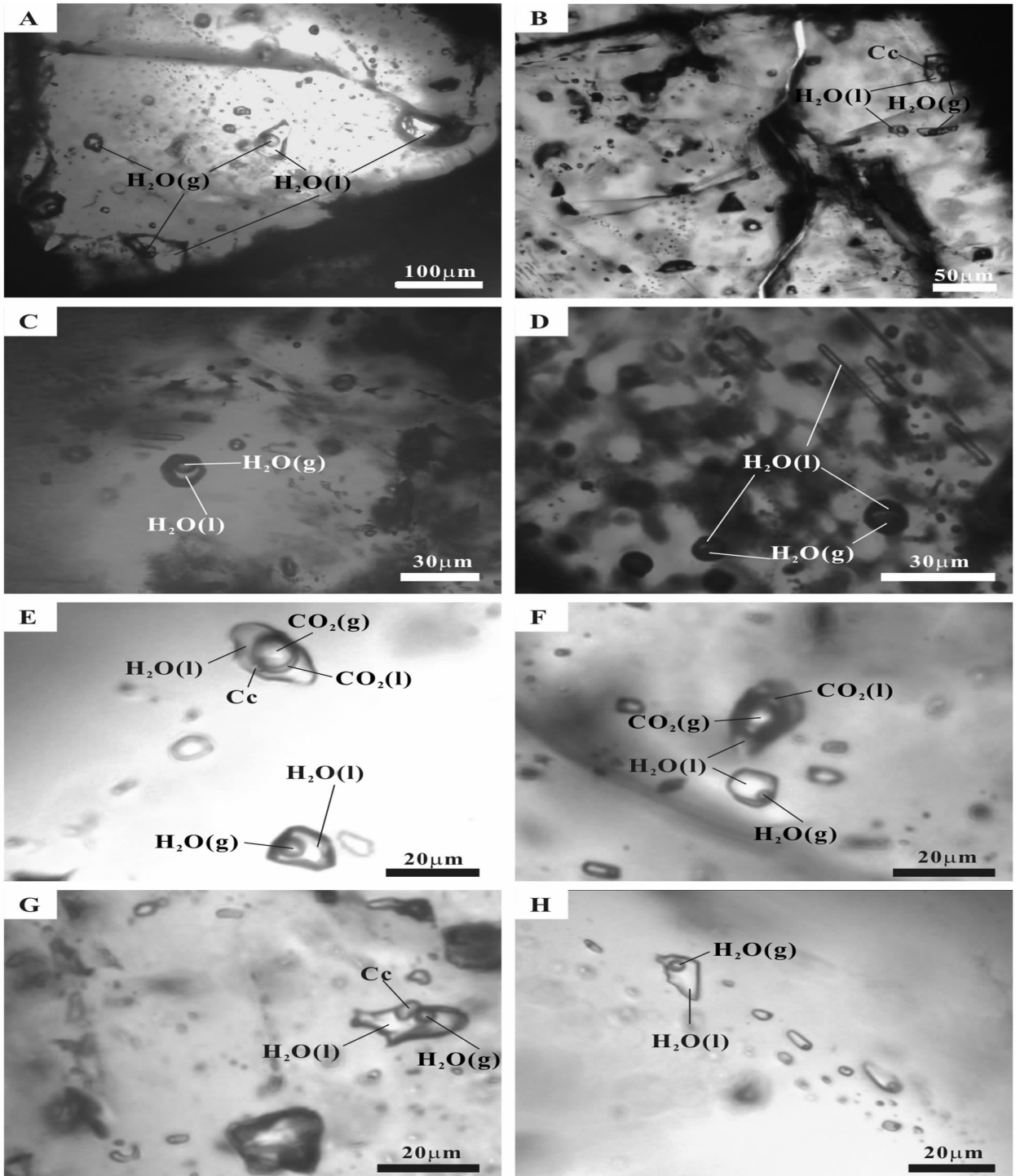


图4 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床流体包裹体显微照片

A-闪锌矿中近三角形水溶液气液两相包裹体；B-闪锌矿中含方解石子矿物三相包裹体；C-闪锌矿中正六边形负晶形的水溶液气液两相包裹体；D-闪锌矿中吸管状水溶液气液两相包裹体；E-石英中含方解石子矿物 CO_2 - H_2O 型包裹体与水溶液包裹体共存；F-石英中 CO_2 - H_2O 型包裹体与水溶液包裹体共存；G-石英中含子矿物型包裹体；H-成矿阶段石英中次生水溶液流体包裹体。照片中的缩写：l-液相；g-气相；Cc-方解石

Fig.4 Microphotographs of the fluid inclusion types from sphalerite and quartz in the Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Ruyang County in Henan Province

A-curvilinear triangle shape aqueous inclusions with a small to intermediate-size bubble in sphalerite; B-quadrangle aqueous inclusion with a calcite daughter mineral in sphalerite; C-hexagon aqueous inclusion with an intermediate-size bubble in sphalerite; D-tubular aqueous inclusion with a small-size bubble in sphalerite; E-coexistence of the carbon dioxide inclusion and aqueous inclusions in quartz; F-coexistence of the carbon dioxide inclusion and aqueous inclusions in quartz; G-coexistence of the aqueous inclusion with calcite daughter mineral and aqueous inclusions in quartz; H-the second aqueous inclusions in the quartz of main mineralization stage. Abbreviations in the photographs: l-liquid; g-gaseous phase; Cc-calcite

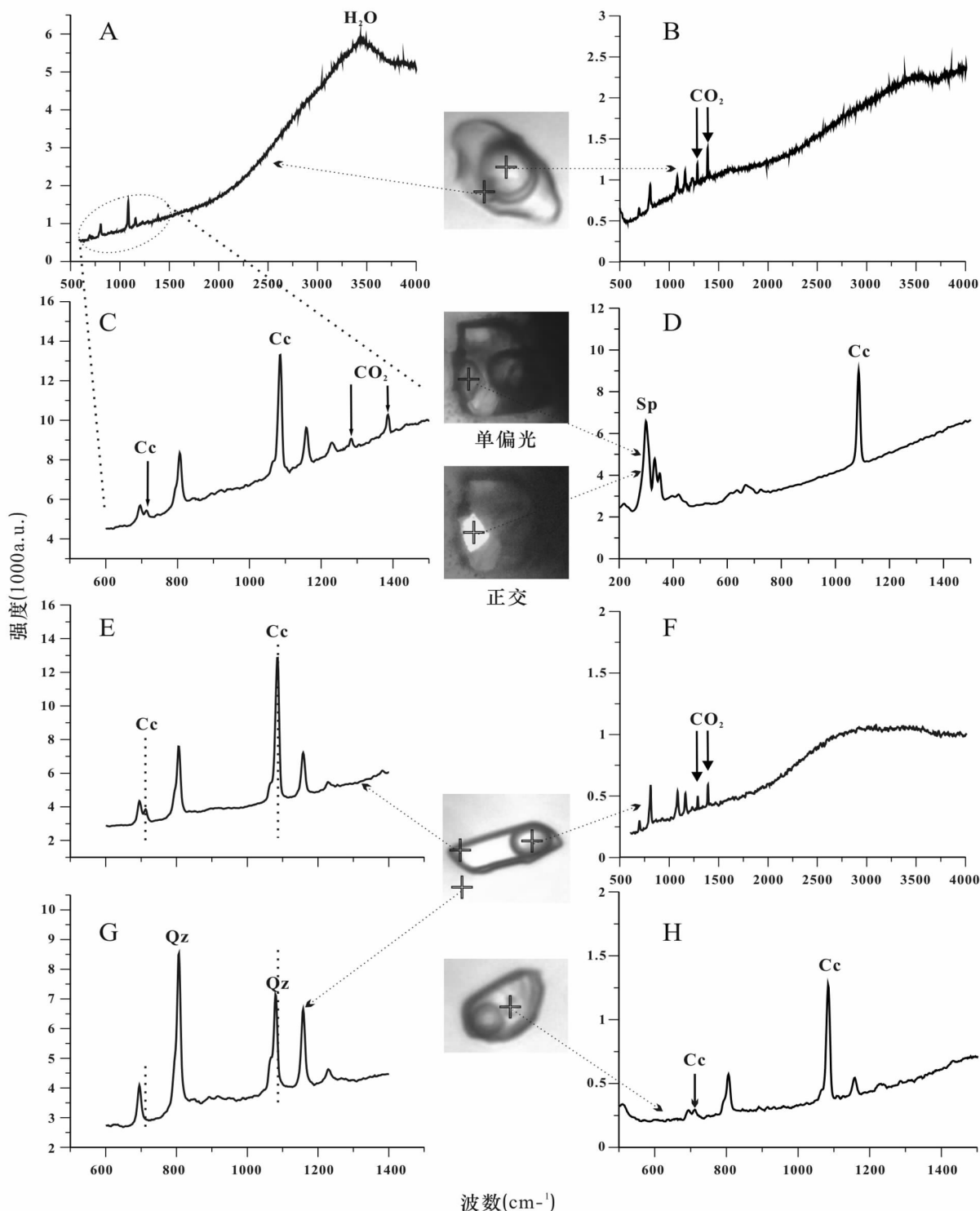


图5 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床流体包裹体激光拉曼光谱图

A、B、C-石英中 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 型含子矿物三相包裹体的拉曼光谱特征,显示含有 CO_2 和方解石子矿物的拉曼光谱特征;D-闪锌矿中三相包裹体中方解石子矿物的拉曼光谱特征;E、F、G-石英中含 CO_2 流体包裹体中方解石子矿物与含 CO_2 气相成分的拉曼光谱特征;F-石英中 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 型包裹体与水溶液包裹体共存;G-石英中含子矿物型包裹体;H-石英中水溶液流体包裹体中方解石子矿物的拉曼光谱特征。图中的缩写:Sp-闪锌矿;Cc-方解石

Fig.5 Raman spectra of fluid inclusions trapped in sphalerite and quartz in Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Ruyang County in Henan Province

A、B、C-spectrum of carbon dioxide inclusion with calcite daughter mineral in quartz, showing it containing carbon dioxide and calcite mineral; D-spectrum of aqueous inclusion with calcite daughter mineral in sphalerite, showing it containing calcite mineral; E、F、G-spectrum of aqueous inclusion with calcite daughter mineral in quartz, showing it containing calcite mineral and little carbon dioxide; G-spectrum of quartz mineral under the aqueous inclusion with calcite daughter mineral showed in E; H-spectrum of aqueous inclusion with calcite daughter mineral in quartz, showing it containing calcite mineral. Abbreviations in the picture: Sp-sphalerite; Cc-calcite

表 1 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microthermometric data of fluid inclusions of the Wangpingxigou Pb-Zn deposit

阶段	寄主矿物	类型	T_{mCO_2} (°C)	T_{mela} (°C)	T_{hcO_2} (°C)	T_{mice} (°C)	T_{hot} (°C)	盐度 (wt%)
早阶段	石英	CO ₂ -H ₂ O 型	-59 ~ -63	8.4 ~ 9.5	27.3 ~ 30		292 ~ 356	1.02 ~ 3.15
		水溶液型				-2.5 ~ -7.8	268 ~ 386	4.18 ~ 11.46
中阶段	石英	CO ₂ -H ₂ O 型	-61.5 ~ -57.8	4.2 ~ 4.3	28.3 ~ 30.3		376 ~ 405	10.04 ~ 10.19
		水溶液型				-2.8 ~ -13.6	153 ~ 383	4.65 ~ 17.43
	闪锌矿	含子晶型				-7.2 ~ -13.6	326 ~ 346	10.73 ~ 17.43
		水溶液型				-2.1 ~ -9.0	182 ~ 312	3.55 ~ 12.85
晚阶段	石英	水溶液型				-4.1	310	6.59
						-1.8 ~ -9.6	116 ~ 250	3.06 ~ 13.51

CO₂-H₂O 型和含子晶型,但晚阶段石英只有水溶液型包裹体;闪锌矿中的流体包裹体主要为水溶液型,偶见含子晶型包裹体,未见 CO₂-H₂O 型。以上表明,成矿流体从早到晚由富 CO₂ 向贫 CO₂ 演化,与世界造山型成矿流体系统的演化规律(Groves *et al.*, 1998, 2003; Kerrich *et al.*, 2000; 陈衍景, 2006; 陈衍景等, 2007)相一致。

4.3 包裹体的均一温度和盐度

我们对 265 个各类包裹体进行了显微测温,归纳结果见表 1,具体叙述如下:

早阶段石英中的水溶液包裹体在降温到 -38 ~ -50°C 时液相全部冷冻,回温过程中测得冰点温度为 -4.2 ~ -1.8°C,对应的盐度为 3.06% ~ 6.74% NaCl eqv.;包裹体向液相均一,均一温度约 270 ~ 386°C。CO₂-H₂O 型包裹体在室温下可见三相,即 CO₂(V) + CO₂(L) + H₂O(L),但多数 CO₂(V) 比例较高,CO₂(L) 不清楚,只有在降温过程中才能显示清楚的 CO₂ 两相。冷冻至液相全冻后,回温过程中固相 CO₂ 的熔化温度为 -63 ~ -59°C,略低于纯 CO₂ 三相点温度(-56.6°C),表明 CO₂ 相中混有其他气体。进一步回温时,CO₂ 笼合物在 8.4 ~ 9.5°C 融化,CO₂(V) 相在 27.3 ~ 30°C 均一至气相。包裹体临界均一或向气相均一,前者只发现一例,均一温度为 338°C,后者为 292 ~ 356°C。根据上述温度,求得水溶液相的盐度为 1.02% ~ 3.15% NaCl eqv.。

多金属硫化物阶段(主成矿阶段或中阶段)的石英中的包裹体类型齐全,其水溶液包裹体在室温下可见气液两相,气液比较低(30%左右),包裹体向液相均一,均一温度为 153 ~ 383°C,盐度为 4.18% ~ 15.47% NaCl eqv.。含子晶型包裹体的子晶大小不均,普遍较小(< 3μm),均为方解石(图 5 A, C, E, H);此类包裹体在降温至 -38°C ~ -50°C 时液相全部冷冻,回温过程中测得冰点温度为 -13.6 ~ -7.2°C,对应的盐度为 10.73% ~ 17.43% NaCl eqv.,高于水溶液型包裹体的盐度。在升温过程中,包裹体向液相均一,气泡在 326 ~ 346°C 时消失,加热过程中未发现子晶融化

或变小,但可观察到子晶在包裹体中的位置发生移动。CO₂-H₂O 型包裹体在降温至 -119 ~ -87°C 时出现 CO₂ 固相,回温过程中测得固相 CO₂ 的熔化温度为 -61.5 ~ -57.8°C,略低于纯 CO₂ 三相点温度(-56.6°C);进一步回温时,CO₂ 笼合物在 4.2 ~ 4.3°C 融化,在 28.3 ~ 30.3°C 时 CO₂ 相均一至气相;继续升温至 376 ~ 405°C 时,包裹体完全均一为液相。根据上述温度,求得 CO₂-H₂O 型包裹体的水溶液相盐度为 10.04% ~ 10.19% NaCl eqv.。

中阶段的闪锌矿矿物中大量发育水溶液型包裹体,包裹体普遍较大(10μm ~ 50μm),个别达 80μm(图 4A)。其水溶液包裹体气液比较小(10% ~ 30%),向液相均一,均一温度为 182 ~ 312°C,盐度为 3.55% ~ 12.85% NaCl eqv.。闪锌矿中的一个含方解石子晶的包裹体(图 4B,图 5D)的气泡消失温度为 310°C,但升温至 450°C 时未见子晶变化,求得流体相盐度为 6.59% NaCl eqv.。

晚阶段矿物只发育水溶液包裹体,个体较小,大者 5μm ~ 15μm,都向液相均一,均一温度介于 120 ~ 250°C 之间,集中于 130 ~ 220°C 之间,盐度为 3.06% ~ 13.51% NaCl eqv.,显示了大气降水热液之低温、低盐度、低 CO₂ 含量的普遍特征(陈衍景等, 2007)。

5 讨论

5.1 成矿流体演化

王坪西沟铅锌矿床有水溶液、含子晶和 CO₂-H₂O 三类流体包裹体,闪锌矿和石英中流体包裹体的激光拉曼光谱特征表明(图 6),子晶主要为方解石。含方解石子晶流体包裹体的出现,说明流体含 Ca²⁺、富 CO₂。因此,我们认为,王坪西沟铅锌矿床成矿流体应为 CO₂-H₂O-NaCl ± CaCl₂ 体系,盐度为 1.02% ~ 17.43% NaCl eqv.,集中在 3% ~ 14% NaCl eqv.,成矿温度为 116 ~ 405°C,属于中温、低盐度流体。成矿流体从早到晚呈现一定的规律性变化(图 6),具体表现为:温度由中高温向中低温发展,早阶段流体包裹体均一温度为

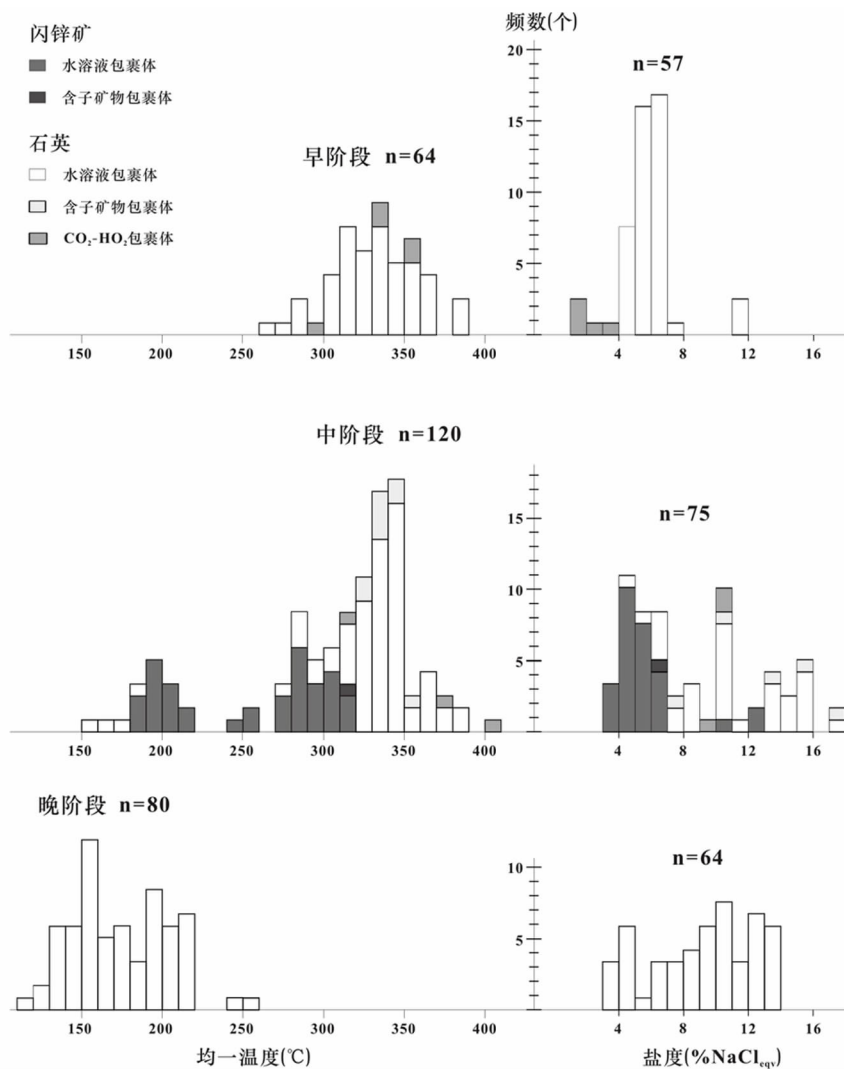


图6 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床流体包裹体均一温度和盐度直方图

Fig. 6 Histograms of homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions trapped in sphalerite and quartz in Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Ruyang County in Henan Province

280 ~ 386°C, 经过中阶段的 180 ~ 350°C, 到晚阶段的 120 ~ 230°C; 盐度在中阶段最高, 早阶段集中在 1.02% ~ 11.46% NaCl eqv., 中阶段盐度为 3.55% ~ 17.43% NaCl eqv., 而晚阶段集中在 3.06% ~ 13.51% NaCl eqv.; 含子晶包裹体以中阶段最为发育, 晚阶段包裹体未见含子晶包裹体; 早阶段和中阶段可见含 CO₂ 三相包裹体, 流体 CO₂ 含量逐渐降低。

主成矿阶段石英中可见 CO₂-H₂O 型包裹体和水溶液包裹体共生(图 4E、F), 气液比小的水溶液包裹体均一至液相(153 ~ 338°C), 而气液比大的 CO₂-H₂O 型包裹体均一至气相(292 ~ 376°C)或者临界均一(338°C)。其中, 图 4E 中气液两相水溶液包裹体均一温度为 304°C, 与三相 CO₂-H₂O 型包裹体的均一温度(376°C)比较相近, 应属沸腾流体包裹体组合。考虑到沸腾包裹体捕获条件的特殊性, 典型沸腾包裹体组合发现的偶然性, 我们认为王坪西沟铅锌矿床成矿过程中流体沸腾现象强烈。此外, 再考虑到早阶段石英脉遭受构造破碎、片理化等, 晚阶段矿物组合充填于张性裂隙, 认为流

体沸腾作用发生在由构造挤压向伸展转变过程, 可能是区域应力场转变或减压导致了流体减压沸腾、开放, 使成矿物质快速沉淀。

事实上, 大多数热液矿床矿质沉淀的最重要机制是流体相分离和流体混合(Skinner, 1979)。这一认识被大量研究所证实, 例如, 西澳大利亚亚纳沃日金矿(范宏瑞等, 2001)、南天山萨瓦亚尔顿金矿(陈华勇等, 2007)、东天山马庄山金矿(李新俊和刘伟, 2002)、河南祁雨沟金矿(齐金忠等, 2004)、冷水北沟铅锌银矿床(祁进平等, 2007)、上宫金矿(Chen *et al.*, 2008; 范宏瑞等, 1998)、铁炉坪银矿(Chen *et al.*, 2004)、内蒙古乌努格土山铜铅矿床(李诺等, 2007)等, 而且体现在包裹体数据的各个方面。王坪西沟铅锌矿床流体盐度从早阶段到中阶段略有增高, 类似现象在很多矿床研究中亦有报道(范宏瑞等, 2003; Chen *et al.*, 2004; 祁进平等, 2007), 他们多属于以 CO₂ 等挥发份大量逃逸为特征的流体沸腾的结果。

综前所述,王坪西沟铅锌矿属典型的断控脉状矿床、具有三阶段成矿的特点、成矿流体具有低盐度、富 CO_2 的特点,这些基本特征与国内外典型造山型矿床(参见: Kerrich *et al.*, 2000; Hagemann and Luders, 2003; Groves *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2004, 2008; 张静等, 2004, 2007; 陈华勇等, 2007; 李文博等, 2007) 极为相似, 指示外方山王坪西沟铅锌矿床属于造山型铅锌矿床。

5.2 成矿机制及过程

目前,国内外学者共识造山型矿床形成于板块会聚边缘的造山过程(如: Kerrich *et al.*, 2000; Groves *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2000; 陈衍景, 2006)。板块会聚边缘的造山作用分为俯冲型、增生型和碰撞型 3 类, 分别以安第斯山脉、科迪勒拉山脉(或中亚造山带)和阿尔卑斯山脉(喜马拉雅山脉或秦岭山脉)为代表, 因此又分别被称为安第斯型、中亚型和阿尔卑斯型造山作用或造山带(陈衍景, 2000)。已知的造山型成矿系统只发育在增生型和碰撞型造山带。Groves *et al.* (1998)、Goldfarb *et al.* (2001) 建立了增生型造山过程中造山型金矿的成矿模式, 确定 B 型俯冲的弧前增生楔是有利的造山型矿床发育区; 陈衍景和富士谷(1992)、Chen *et al.* (2004, 2005, 2008) 通过研究秦岭等碰撞造山带内的脉状热液矿床, 建立了碰撞造山成岩成矿与流体作用模式(CMF 模式)或 A 型俯冲成岩成矿与流体作用模式, 确定 CMF 模式的脉状热液矿床带(D 带)是有利的造山型矿床成矿空间, 并将造山型金矿概念拓展为造山型矿床。

外方山矿集区位于秦岭碰撞造山带内部, 显然应考虑以 CMF 模式解释矿集区和王坪西沟矿床的成因。前人研究(胡受奚, 1988; 陈衍景和富士谷, 1992) 表明, 在中生代扬子与中朝板块的碰撞造山过程中, 外方山矿集区南部边界栾川断裂和矿集区内部的车村—鲁山断裂(马超营断裂的东延)均转变为倾向北的 A 型俯冲带, 这使得合峪—太山庙花岗岩基以北的汝阳南部的成矿作用类型复杂, 既发育由沿栾川断裂向北 A 型俯冲所形成的浆控高温热液型成矿系统(含

斑岩型、爆破角砾岩型等), 也发育由沿车村—鲁山断裂向北 A 型俯冲所驱动的造山型成矿系统, 而本文所研究的王坪西沟铅锌矿床就是由车村—鲁山断裂所导致的造山型铅锌矿床(图 7)。具体是, 陆壳板片沿车村—鲁山断裂向北 A 型俯冲时, 俯冲板片变质脱水而形成向上运移的富 CO_2 、低盐度的变质流体, 变质流体的沸腾及沸腾后与大气降水热液的混合作用导致了王坪西沟等铅锌成矿系统的发育, 并使成矿流体从早阶段到晚阶段 CO_2 含量降低、温度降低, 盐度在中阶段最高。碰撞型造山作用总是包括早期挤压增温、中期减压增温和晚期伸展降温三个阶段, 而此三个阶段与赋矿断裂性质、矿石组构所显示的从早阶段挤压构造、中阶段剪切和晚期伸展构造背景相吻合。

总之, 流体包裹体研究表明, 王坪西沟铅锌矿床属于大陆碰撞造山体制形成的造山型铅锌矿床, 主成矿阶段发生在挤压—伸展期的减压增温环境, 也与前人对东秦岭类似矿床所获得的认识(陈衍景和富士谷, 1992; Chen *et al.*, 2005) 相吻合。

6 结论

(1) 河南汝阳王坪西沟大型铅锌矿床呈薄脉状赋存于华北克拉通南缘中—新元古代地层中, 矿体受断裂构造控制, 属于典型的断控脉状矿床; 矿石组构和矿物组合具三阶段特征, 早阶段矿物组合显示变形和破碎现象。矿床具有造山型矿床的矿床地质特征。

(2) 矿床流体包裹体有 CO_2 - H_2O 型、水溶液型和含子晶型流体包裹体, 成矿流体为 CO_2 - H_2O - $\text{NaCl} \pm \text{CaCl}_2$ 体系, 流体系统减压沸腾是成矿物质沉淀的主要机制。成矿温度范围在 $160 \sim 410^\circ\text{C}$, 属于中温浅成热液矿床, 相当于浅成的造山型成矿系统。

(3) 在构造环境上, 矿区属于秦岭中生代碰撞造山带车村—鲁山断裂北部, 矿床地质特征及流体包裹体特征与造山型矿床基本一致, 主成矿阶段发生在挤压—伸展期的减压增温环境, 成因可以碰撞造山成岩成矿与流体作用模式(CMF) 阐述。

致谢 研究工作得到陈衍景、卢焕章和单强等专家的指导, 祁进平博士和李晶博士等在实验工作中给予了大力帮助。两位审稿人提出了宝贵的修改意见, 在此表示谢意!

References

- Chen HY, Chen YJ, Ni P and Zhang ZJ. 2007. Chemical composition of fluid inclusions of the Sawayardun gold deposit, Xinjiang: Implications for ore genesis and prediction. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2189–2197 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ. 1998. Constraints and their mechanism on the petrogenetic and metallogenetic model for collision orogenesis. *Earth Science Frontiers*, 5(suppl.): 109–118 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ. 2000. Progress in the study of Central Asia-type orogenesis-metallogenesis in Northwest China. *Geological Journal of China Universities*, 6(1): 17–22 (in Chinese)

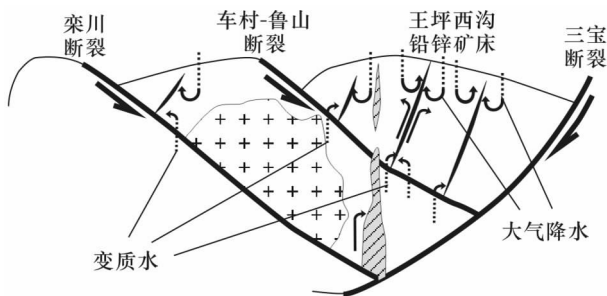


图 7 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床流体—构造成矿模式示意图(陈衍景, 1998 修改)

Fig. 7 Tectonic model for fluid flow and metallogenesis of the Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Ruyang County in Henan Province (modified after Chen, 1998)

- Chen YJ. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. *Geology in China*, 33: 1181 – 1196 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ and Fu SG. 1992. *Gold Mineralization in West Henan, China*. Beijing: Chinese Seismological Press, 234 (in Chinese)
- Chen YJ, Fu SG and Qiang LZ. 1992. The tectonic environment for the formation of the Xiong'er Group and the Xiyanghe Group. *Geological Review*, 38: 325 – 333 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Li C, Zhang J, Li Z and Wang HH. 2000. Sr and O isotopic characteristics of porphyries in the Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type. *Science in China (Series D)*, 43(Suppl.): 82 – 94
- Chen YJ, Ni P, Fan HR, Pirajno F, Lai Y, Su WC and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2085 – 2108 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Pirajno F and Qi JP. 2008. The Shanggong gold deposit, eastern Qinling Orogen, China: Isotope geochemistry and implications for ore genesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33: 252 – 266
- Chen YJ, Pirajno F and Sui YH. 2004. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting. *Mineralium Deposita*, 39: 560 – 575
- Chen YJ, Pirajno F and Sui YH. 2005. Geology and D-O-C isotope systematics of the Tieluping silver deposit, Henan, China: Implications for ore genesis. *Acta Geologica Sinica*, 79: 106 – 119
- Chen YJ and Zhao YC. 1997. Geochemical characteristics and evolution of REE in the Early Precambrian sediments: Evidences from the southern margin of the North China Craton. *Episodes*, 20(2): 109 – 116
- Fan HR, Groves DI, Mikucki EJ and McNaughton NJ. 2001. Fluid mixing in the generation of Nevea gold mineralization in the Southern Cross Greenstone Belt, Western Australia. *Mineral Deposits*, 20(1): 37 – 43 (in Chinese with English abstract)
- Fan HR, Xie YH and Wang YL. 1998. Fluid-rock interaction during mineralization of the Shanggong structure-controlled alteration-type gold deposit in western Henan Province, Central China. *Acta Petrologica Sinica*, 14: 529 – 541 (in Chinese with English abstract)
- Fan HR, Xie YH, Zhai MG and Jin CW. 2003. A three stage fluid model for Xiaqingling lode gold metallogenesis in the Henan and Shaanxi provinces, central China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 260 – 266 (in Chinese with English abstract)
- Fu ZG, Lv WQ, Tian XQ, Yin XZ and Zhang SS. 2005. Study on geology characteristics and prospecting factors of Donggou Mo deposit. *China Molybdenum Industry*, 29(2): 8 – 16 (in Chinese with English abstract)
- Goldfarb RJ, Groves DI and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18: 1 – 75
- Groves DI, Goldfarb RJ, Gebre-Mariam M, Hagemann SG and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13: 7 – 27
- Groves DI, Goldfarb RJ, Robert F and Hart JRC. 2003. Gold deposits in Metamorphic Belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, 98: 1 – 29
- Hagemann SG and Luders V. 2003. *P-T-X* conditions of hydrothermal fluid and precipitation mechanism of stibnite-gold mineralization at the Wiluna lode-gold deposits, Western Australia: Conventional and infrared microthermometric constraints. *Mineralium Deposita*, 38: 936 – 952
- He YH, Zhao GC, Sun M and Wilde SA. 2008. Geochemistry, isotope systematics and petrogenesis of the volcanic rocks in the Zhongtiao Mountain: An alternative interpretation for the evolution of the southern margin of the North China Craton. *Lithos* 102: 158 – 178
- Hou G, Santosh M, Qian XL, Lister GS and Li JH. 2008. Configuration of the Late Paleoproterozoic supercontinent Columbia: Insights from radiating mafic dyke swarms. *Gondwana Research*, doi:10.1016/j.gr.2008.01.010
- Hu SX. 1988. Geology and metallogeny of the collisional belt between the North and South China plates. Nanjing: Nanjing Univer. Press, 558 (in Chinese).
- Huang RY, Qiao HD and Zhang W. 1992. Study of the geological control conditions and genesis of Pb-Zn deposit in the south Ruyang County. *Henan Geology*, 10(2): 81 – 88 (In Chinese)
- Jia CZ, Shi YS and Guo LZ. 1988. Plate Tectonics of Eastern Qinling Mountains of China. Nanjing: Nanjing University Press, 130 (in Chinese).
- Kerrich R, Goldfarb RJ, Groves DI, Garwin S and Jia YF. 2000. The characteristics, origins and geodynamic setting of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (Series D) (suppl.)*, 43: 1 – 68
- Li N, Chen YJ, Lai Y and Li WB. 2007. Fluid inclusion study of the Wunugutushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2177 – 2188 (in Chinese with English abstract)
- Li WB, Lai Y, Sun XW and Wang BG. 2007. Fluid inclusion study of the Bainaimiao Cu-Au deposit in Inner Mongolia, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2165 – 2176 (in Chinese with English abstract)
- Li XJ and Liu W. 2002. Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of the Mazhuangshan gold deposit, eastern Tianshan Mountains of China. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 551 – 558 (in Chinese with English abstract)
- Liu YC, Weng JH, Ban YH, Guo R, Wang WJ, Diao AG and Fu ZG. 2007. Geochemical characteristics of the Wangpingxigou lead-zinc deposit in Ruyang, Henan Province. *Geophysical and Geochemical exploration*, 31(3): 205 – 210 (in Chinese with English abstract)
- Ma HY, Huang CY, Ba AM, Li HL and Li FA. 2006a. Metallogenic regularities and prospecting criteria of Pb-Zn-Mo deposits in the south Ruyang area. *Geology and prospecting*, 42(5): 17 – 22 (in Chinese with English abstract)
- Ma HY, Zhao XF, Zhang YZ and Gao F. 2006b. The geological characteristics of Wangpingxigou Pb-Zn deposit in Ruyang and the ore prospecting directions. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 21(3): 184 – 187 (in Chinese with English abstract)
- Memagh TP, Bastrakov EN, Zaw Khin, Wygralak AS and Wybom LAI. 2007. Comparison of fluid inclusion data and mineralization processes for Australian orogenic gold and intrusion-related gold systems. *Acta Petrologica Sinica*, 23(1): 21 – 32
- Peng P, Zhai MG, Ernst RE, Guo JH, Liu F and Hu B. 2008. A 1.78 Ga large igneous province in the North China Craton: The Xiong'er volcanic province and the North China dyke swarm. *Lithos*, 101: 260 – 280
- Pirajno F and Chen YJ. 2005. The Xiong'er Group: A 1.76 Ga large igneous province in East-Central China? <http://www.largeigneousprovinces.org/>
- Qi JP, Chen YJ, Ni P, Lai Y, Ding JY, Song YW and Tang GJ. 2007. Fluid inclusion constraints on the origin of the Lengshuibigou Pb-Zn-Ag deposit, Henan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2119 – 2130 (in Chinese with English abstract)
- Qi JZ, Ma ZR and Li L. 2004. Fluid evolution of Qiyugou cryptoexplosive breccias type gold deposit, Henan. *Gold Geology*, 10(4): 1 – 10 (in Chinese with English abstract)
- Roedder E. 1984. Fluid inclusions. *Mineral Soc Am Rev Mineral*, 12: 643
- Skinner BJ. 1979. The many origins of hydrothermal mineral deposits. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York: John Wiley & Sons, 1 – 12
- Sun S, Cong BL and Li JL. 1981. Meso-Neoproterozoic sedimentary basins in Henan and Shanxi Provinces. *Chinese Journal of Geology*, 16: 314 – 322 (in Chinese with English abstract).
- Wang CM, Deng J and Zhang TS. 2005. The relationship between gold and lead-zinc in Xizaogou tectonoalteration ore deposit, Henan

- Province. *Gold*, 26(4): 13–16 (in Chinese with English abstract)
- Yan CH. 2004. Study on Inner Structure of Lead-Zinc-Silver Mineralization System in Eastern Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 144 (in Chinese with English abstract)
- Ye HS. 2006. The Mesozoic Tectonic Evolution and Pb-Zn-Ag Metallogeny in the South Marge of North China Craton. A Dissertation for Doctoral Degree. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 229 (in Chinese with English abstract)
- Ye HS, Mao JW, Li YF, Guo BJ, Zhang CQ, Liu Y, Yan QR and Liu GY. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in east Qinling, China, and its geological implication. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1078–1088 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J and Chen YJ. 2005. Ore Geology and Fluid system of the Yindonggou Ag Deposit, Henan; Implication for Genetic Type. Beijing: Extended Abstract of SGA2005 Conference, Springer, 1005–1008
- Zhang J, Chen YJ, Li GP, Li ZL and Wang ZG. 2004. Characteristics of ore geology and fluid inclusion of the Yindonggou silver deposit, Neixiang County, Henan Province; Implication for metallogenic type. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(3): 55–64 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J, Qi JP, Qiu JJ, You SN and Li GP. 2007. Compositional study on ore fluid of the Yindonggou silver deposit in Neixiang County, Henan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2217–2226 (in Chinese with English abstract)
- Zhao GC, Cawood PA, Wilde SA and Sun M. 2002. Review of global 2.1–1.8 Ga orogens; Implications for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth Science Reviews*, 59: 125–162
- Zhao GC, Sun M, Wilde SA and Li SZ. 2004. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent: Assembly, growth and breakup. *Earth Science Reviews*, 67: 91–123
- Zhao TP, Zhou MF, Zhai MG and Xia B. 2002. Paleoproterozoic rift-related volcanism of the Xiong'er Group, North China Craton: Implications for the breakup of Columbia. *International Geology Review*, 44: 336–351
- Zhao TP, Xu YH and Zhai MG. 2007. Petrogenesis and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xiong'er Group in the southern part of the North China Craton; A review. *Geological Journal of China universities*, 13(2): 191–206 (in Chinese with English abstract)
- 范宏瑞, 谢亦汉, 王英兰. 1998. 豫西上官构造蚀变岩型金矿成矿过程中的流体—岩石反应. *岩石学报*, 14: 529–541
- 范宏瑞, 谢亦汉, 翟明国, 金成伟. 2003. 豫陕小秦岭脉状金矿床三期流体运移成矿作用. *岩石学报*, 19(2): 260–266
- 付治国, 吕伟庆, 田修启, 印修章, 张松盛. 2005. 东沟钼矿床地质特征及找矿因素研究. *中国钼业*, 29(2): 8–16
- 黄任远, 乔怀栋, 张巍. 1992. 汝阳南部铅锌矿控矿地质条件及成矿机制初探. *河南地质*, 10(2): 81–88
- 胡受奚. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿. 南京: 南京大学出版社, 558
- 贾承造, 施央申, 郭令智. 1988. 东秦岭板块构造. 南京: 南京大学出版社, 130
- 李诺, 陈衍景, 赖勇, 李文博. 2007. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床流体包裹体研究. *岩石学报*, 23(9): 2177–2188
- 李文博, 赖勇, 孙希文, 王宝国. 2007. 内蒙古白乃庙铜金矿床流体包裹体研究. *岩石学报*, 23(9): 2165–2176
- 李新俊, 刘伟. 2002. 东天山马庄山金矿床流体包裹体和同位素地球化学研究及其对矿床成因的制约. *岩石学报*, 18(4): 551–558
- 刘永春, 瓮纪昌, 班宜红, 郭锐, 王文娟, 刁爱国, 付治国. 2007. 河南汝阳王坪西沟铅锌矿床地球化学特征. *物探与化探*, 31(3): 205–210
- 马红义, 黄超勇, 巴安民, 黎红莉, 李发安. 2006a. 汝阳县南部钼多金属矿床成矿规律及找矿标志. *地质与勘探*, 42(5): 17–22
- 马红义, 赵秀芳, 张云政, 高飞. 2006b. 汝阳县王坪西沟铅锌矿床地质特征及找矿方向. *地质找矿论丛*, 21(3): 184–187
- 祁进平, 陈衍景, 倪培, 赖勇, 丁俊英, 宋要武, 唐国军. 2007. 河南冷水北沟铅锌银矿床流体包裹体研究及矿床成因. *岩石学报*, 23(9): 2119–2130
- 齐金忠, 马占荣, 李莉. 2004. 河南祁雨沟金矿床成矿流体演化特征. *黄金地质*, 10(4): 1–10
- 孙枢, 丛柏林, 李继亮. 1981. 豫、陕中-晚元古代沉积盆地. *地质科学*, (4): 314–322
- 王长明, 邓军, 张寿庭. 2005. 河南西灶沟构造蚀变岩型矿床金和铅锌的关系. *黄金*, 26(4): 13–16
- 燕长海. 2004. 东秦岭铅锌银成矿系统内部结构. 北京: 地质出版社, 144
- 叶会寿. 2006. 华北陆块南缘中生代构造演化与铅锌银成矿作用. 博士学位论文. 北京: 中国地质科学院, 229
- 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 郭保健, 张长青, 刘瑶, 闫全人, 刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. *地质学报*, 80(7): 1078–1088
- 张静, 陈衍景, 李国平, 李忠烈, 王志光. 2004. 河南内乡县银洞沟银矿地质和流体包裹体特征及成因类型. *矿物岩石*, 24(3): 55–64
- 张静, 祁进平, 仇建军, 尤世娜, 李国平. 2007. 河南省内乡县银洞沟银矿床流体成分研究. *岩石学报*, 23(9): 2217–2226
- 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 2007. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境: 事实与争议. *高校地质学报*, 13(2): 191–206

附中文参考文献

- 陈华勇, 陈衍景, 倪培, 张增杰. 2007. 新疆萨瓦亚尔顿金矿流体包裹体成分及其成矿和勘探意义. *岩石学报*, 23(9): 2189–2197
- 陈衍景. 1998. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制. *地学前缘*, 5(增刊): 109–118
- 陈衍景. 2000. 中国西北地区中亚型造山—成矿作用的研究意义和进展. *高校地质学报*, 6(1): 17–22
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力. *中国地质*, 33: 1181–1196
- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 234
- 陈衍景, 富士谷, 强立志. 1992. 评熊耳群和西洋河群形成的构造背景. *地质论评*, 38(4): 325–333
- 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, Pirajno F, 赖勇, 苏文超, 张辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征. *岩石学报*, 23(9): 2085–2108
- 范宏瑞, Groves DI, Mikucki EJ, McNaughton NJ. 2001. 西澳大利亚纳沃日金矿流体混合与金的成矿作用. *矿床地质*, 20(1): 37–43