

文章编号 0258-7106(2007)02-0175-09

河南冷水北沟铅锌矿地质地球化学特征 及成因探讨*

王长明^{1,2} 张寿庭^{1,2} 邓 军^{1,2} 孙艳霞³ 燕长海^{1,4} 叶会寿⁵

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083; 2 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室,北京 100083; 3 河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队,河南 洛阳 473200; 4 河南省地质调查院,河南 郑州 450007; 5 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要 冷水北沟铅锌矿床赋存于元古界栾川群和管道口群内,矿体受断裂破碎带及矽卡岩带的控制。矿石类型可分为热液脉型和矽卡岩型,矿体围岩蚀变强烈。根据矿床地质-地球化学特征,结合矿石的矿物共生组合、铅和硫同位素组成及成矿年龄、包裹体成分及特征,认为该矿床的矿源为岩浆岩,成矿溶液主要来自岩浆水和大气降水的混合溶液,矿床成因类型属中高温条件下形成的热液脉型-矽卡岩型矿床。

关键词 地球化学,热液脉型,矽卡岩型,矿床成因,冷水北沟

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

Geological-geochemical features and genesis of Lengshuibeiyou Pb-Zn deposit in Henan

WANG ChangMing^{1,2}, ZHANG ShouTing^{1,2}, DENG Jun^{1,2}, SUN YanXia³, YAN ChangHai⁴
and YE HuiShou⁵

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobeing Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 No. 1 Geological Surveying Party, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhengzhou 450007, Henan, China; 4 Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Luoyang 473200, Henan, China; 5 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Lengshuibeiyou lead and zinc deposit occurs in Proterozoic Luanchuan Group and Guandaokou Group, with ore bodies strictly controlled by the ductile shear zone and the skarn zone. The lead-zinc ores can be classified into the hydrothermal vein type and the skarn type with strong wall rock alteration. It is held that the mineralization resulted from the magmatic activity, as evidenced by the features of ore geology, geochemistry, mineral assemblage, lead and sulfur isotope, mineralization age and composition of inclusions in minerals. The ore-forming solution was a mixture of magmatic water and meteoric water. The deposit is genetically of the hydrothermal vein type and skarn type formed at medium-high temperature.

Key words: geochemistry, hydrothermal vein type, skarn type, metallogenesis, Lengshuibeiyou

* 本文得到教育部科学技术研究重点项目(03178)、教育部跨世纪人才基金项目、国家自然科学基金项目(40172036)和中国地质调查局国土资源调查项目(20023030)的联合资助

第一作者简介 王长明,男,1974年生,在读博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: wcm233@163.com

收稿日期 2006-04-13; 改回日期 2006-10-10。许德焕、李岩编辑。

研究区位于东秦岭钼多金属成矿带的东端,华北地台西南缘的拗陷带内,三川—栾川断陷带中EW向构造由NWW向NW弧形转折的部位。该区分布有三道庄、南泥湖、上房沟等超大型钼、钨矿床。自1999年实施地质大调查项目以来,在该区先后发现了杨树凹、冷水北沟、银河沟、百炉沟等10余处铅、锌、银多金属矿脉群(图1)及上百条含矿断裂带,铅、锌和银的资源量都达到了大型规模,其中,冷水北沟矿床是2002~2003年开展矿产资源评价时新发现的铅锌矿床。关于冷水北沟铅锌矿床成因的观

点很多,众多学者认为是热液脉型矿床(燕长海等,2002;燕长海,2004;刘国印,2003;吕文德等,2005;王长明等,2005a,2005b),最多的讨论集中在该矿区东部的骆驼山段,有岩浆成因观点(吕文德等,2005;燕长海等,2002),也有喷流沉积成因的看法(胡受奚等,1988;刘国印,2003;燕长海,2004)。笔者对该矿床进行了深入的矿物学、岩石学、组构学、地球化学等方面的研究,提出了热液脉型-矽卡岩型多成因成矿床的新认识,以求推进铅锌矿床的综合研究及矿区外围的找矿工作。

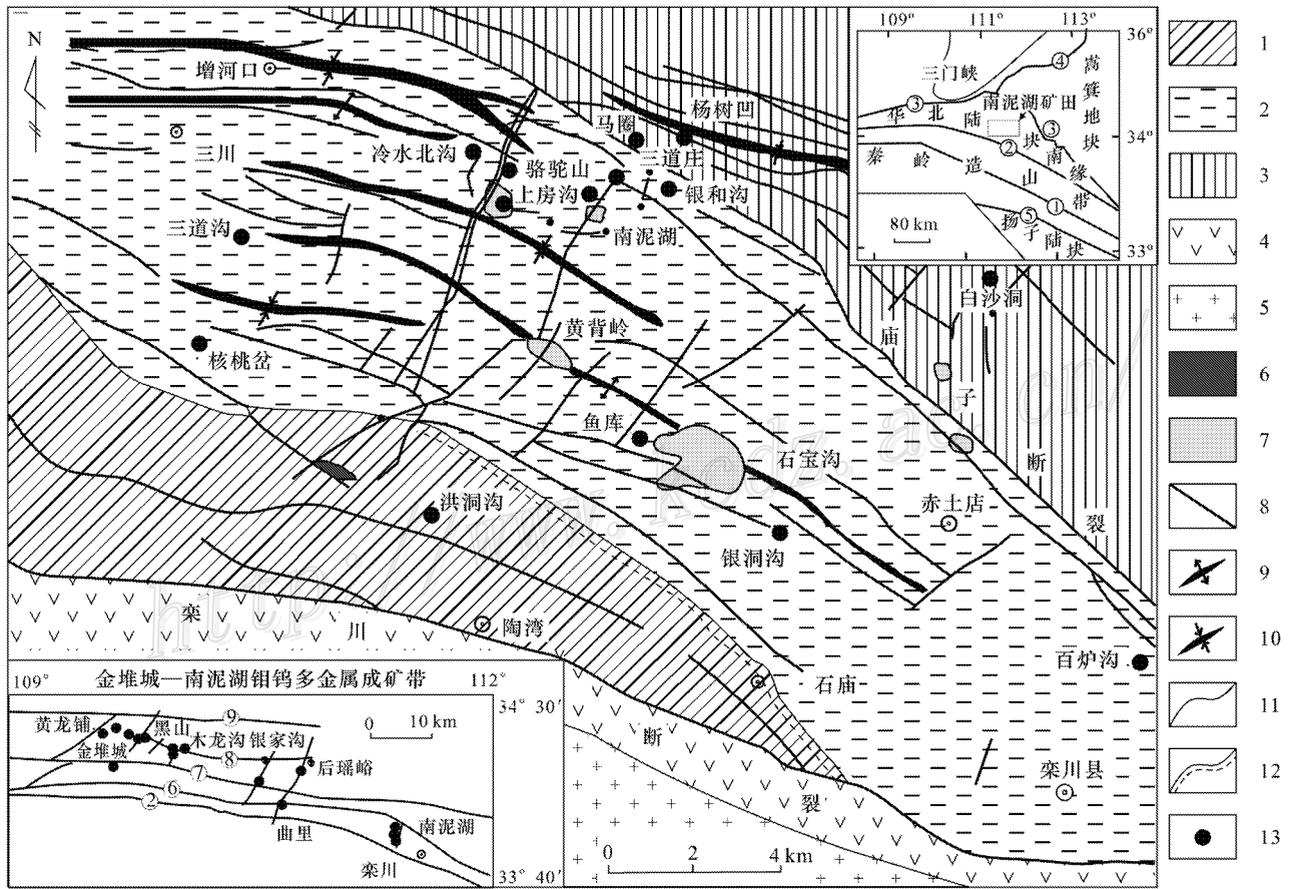


图1 南泥湖矿田地质矿产简图

- 1—陶湾群碳酸盐岩、碎屑岩 2—栾川群碎屑岩、碳酸盐岩及粗面岩 3—官道口群大理岩 4—宽坪群大理岩及基性火山岩 5—早白垩世花岗岩 6—晚侏罗世花岗岩斑岩脉 7—晚侏罗世花岗岩斑岩 8—断层 9—背斜轴 10—向斜轴 11—地质界线 12—平行不整合界线 13—矿床。
- 插图: ①—商丹断裂; ②—栾川断裂; ③—三门峡断裂; ④—太行山断裂; ⑤—南漳断裂; ⑥—庙子断裂; ⑦—马超营断裂; ⑧—银家沟断裂; ⑨—尖山断裂

Fig. 1 Geological sketch map of the Nannihu ore field, showing locations of major ore deposits

- 1—Carbonate and clastic rock of Taowan Group; 2—Clastic rocks, carbonate and trachyte of Luanchuan Group; 3—Marble of Guandaokou Group; 4—Marble and basic volcanic rock of Kuaping Group; 5—Early Cretaceous granite; 6—Late Cretaceous granite-porphry vein; 7—Late Cretaceous granite-porphry; 8—Fault; 9—Axis of anticline; 10—Axis of syncline; 11—Geological boundary; 12—Unconformity; 13—Deposit; ①—Shangdan fault; ②—Luanchuan fault; ③—Sanmenxia fault; ④—Taihangshan fault; ⑤—Nanzhang fault; ⑥—Miaozi fault; ⑦—Machaoying fault; ⑧—Yinjiagou fault; ⑨—Jianshan fault

1 区域成矿地质背景

研究区内,褶皱形态复杂,褶皱构造以背斜为主,形态比较完整,向斜则狭窄且残缺不全,能够确定的褶皱主要为黄背岭—石宝沟背斜。断裂构造有区域性的栾川断裂、庙子断裂及一系列自北向南推覆的逆冲断裂。栾川地区的南泥湖、上房沟等小岩体及与之有关的斑岩型-矽卡岩型-岩浆热液充填交代型矿床,明显受 NNE 向与 NWW 向断裂的联合控制。

区内出露地层主要为元古代官道口群、栾川群及古生代陶湾群(图 1),是一套滨浅海相陆源碎屑-碳酸盐岩-火山岩建造或含叠层石碳酸盐岩沉积建造,普遍含燧石条带、条纹、团块及蜂窝状燧石层,以含火山物质及富镁、高硅、多碳为特征。地层中碳质成分自下而上逐渐增多,反映出大陆边缘海为含盐度较高、半封闭-封闭的滞流环境。前人的研究结果(张本仁等,1987;胡受奚等,1988)表明,栾川群、官道口群蕴藏着该区最为重要的钼、钨、铅、锌、银等多金属矿产,是该区最重要的赋矿层位,如:银家沟硫铁铅锌多金属矿床、百炉沟 MVT 铅锌矿床和神洞沟 SEDEX 型铅锌矿床等赋存于官道口群地层内,具层控特征;银河沟 SEDEX 型铅锌矿床、核桃岔等岩浆热液充填交代型铅锌矿床与栾川群关系密切(王长明等,2005a,2005b)。

燕山期岩浆活动强烈而广泛,形成了花岗岩基和花岗斑岩体,与该区的钼、钨、金、银、铜、铅、锌等内生矿产具有密切的成生联系。岩体多分布于近 EW 向与 NNE 向构造交汇处,出露面积多小于 1 km²,为复式岩体。如,南泥湖岩体主要分布在冷水北沟矿区的南侧,由早期斑状黑云母花岗闪长岩、中

期花岗斑岩、晚期花岗斑岩脉和细晶岩脉组成;上房沟岩体由早期斑状黑云母二长花岗岩、中期花岗斑岩、晚期花岗斑岩脉组成。岩体与围岩界线清楚,热接触交代变质带发育,形成各类矽卡岩和角岩。

研究区位于一个规模大、元素分带明显、形态完整的区域地球化学异常带内。从异常区中心向外,是一个由高温元素到低温元素的完整序列,元素组合依次为 Mo-W-Bi-Cu-Zn-Pb-Ag-As-B-Ge^{①②}。该组合可分为中心带、中间带和边缘带,中心带为高温的 W、Mo、Sn 组合,中间带为中低温的 Cu、Zn 组合,边缘带为低温的 Pb、Ag、As 组合。该元素组合的水平分带与斑岩型-矽卡岩型-中低温热液型矿床成矿分带相对应(王长明,2006),与国内外一些学者,如毛德宝等(2003)和 Hedenquist 等(1994;1998)对斑岩型(或矽卡岩型)矿床和热液型矿床之间时空结构研究的结果相一致。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

矿区内主要的矿体类型为热液脉型和矽卡岩型,其特征见表 1。热液脉型铅锌矿体赋存于 NE 向断裂带内,严格受断裂控制,产状与断裂带一致(图 2),矿体产状较稳定,局部有分枝、复合、膨大、尖缩现象。

矽卡岩型矿体具有以下特征:矿化具显著的层控性,矿床都赋存于元古代地层内;矿体产于透辉石榴子石矽卡岩层中,呈层状、似层状、透镜状,严格受地层控制,产状与地层一致,且与围岩同步褶曲;矿体赋存于上元古界栾川群上段大理岩和下段石英岩、片岩之间,严格受矽卡岩控制,其厚度与矽卡岩厚度成正比。

表 1 冷水北沟矿区矿体特征

Table 1 Ore body characteristics of the Lengshuibeiou ore district

矿体编号	矿体规模/m		矿体形态	矿体产状	平均品位/%	控矿因素
	长度	平均厚度				
S027	2 200	1.43	似层状、脉状	140~170°∠50~60°	(Pb+Zn)18.86	构造
S031	1 675	2.06	似层状、脉状	110°∠68°	(Pb+Zn)8.19	构造
S032	2 130	1.70	似层状或透镜状	79~130°∠60~80°	(Pb+Zn)7.9	构造
Sk1	800	15.00	层状	210~240°∠30~45°	Zn 2.50, Cu 0.36	层状矽卡岩

① 河南省地质矿产厅区域地质调查队,1984. 栾川地区 1:20 万水系沉积物测量报告. 内部资料.

② 河南省地质调查院,2001. 栾川地区 1:5 万水系沉积物测量报告. 内部资料.

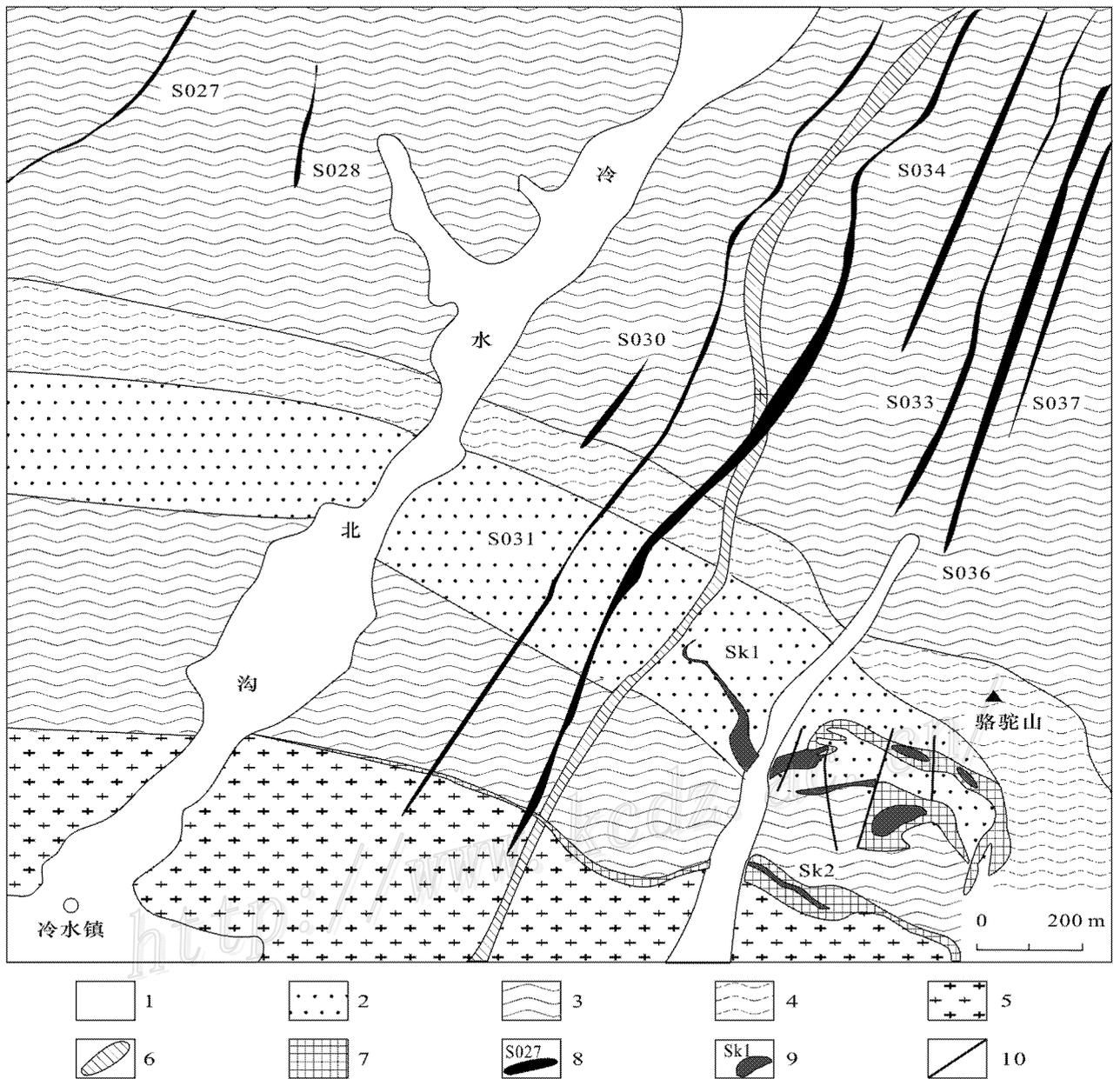


图 2 冷水北沟矿区铅锌矿脉分布图

1—第四系 2—三川组大理岩、变质砂岩 3—南泥湖组石英岩、片岩、大理岩 4—白术沟组千枚岩 5—晚侏罗世花岗岩斑岩脉 6—新元古代变辉长岩 7—矽卡岩带 8—脉状铅锌矿体及编号 9—层状矽卡岩型矿体及编号 10—断层

Fig. 2 Distribution of lead-zinc veins in the Lengshuibeiou ore district

1—Quaternary ; 2—Marble and metamorphic sandstone of Sanchuan Formation ; 3—Quartzite , schist and marble of Nannihu Formation ; 4—Phyllite of Baishugou Formation ; 5—Late Cretaceous granite-porphry ; 6—Late Proterozoic metamorphic gabbro ; 7—Skarn belt ; 8—Veinlike lead-zinc ore body ; 9—Stratiform skarn type ore body ; 10—Fault

2.2 矿石特征

2.2.1 矿石类型

矿石的自然类型可分为热液脉型铅锌矿石和矽卡岩型铅锌硫铁多金属矿石 2 大类。热液脉型铅锌矿石按矿化类型又可进一步细分为多金属硫化物石

英脉型和交代蚀变岩型 2 种,前者呈脉状产于断裂带内或近顶、底板处,后者一般产于石英脉的两侧和中部,蚀变有硅化、绢云母化和碳酸盐化,金属矿物主要为黄铁矿、方铅矿和闪锌矿,多呈浸染状分布。

矽卡岩型铅锌硫铁多金属矿石又可分为硫化物

型和矿化矽卡岩型。硫化物型常见有致密块状磁黄铁矿型矿石、致密块状黄铁矿型矿石、黄铁矿石英型矿石、铜铅锌多金属型矿石、铅锌磁黄铁矿型矿石。

2.2.2 矿物成分

热液脉型铅锌矿石的矿物成分主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、少量黄铜矿，脉石矿物主要是石英、方解石。

矽卡岩型铅锌硫铁多金属矿石的矿物成分主要为磁黄铁矿、黄铁矿、胶黄铁矿、铁闪锌矿，次为方铅矿、黄铜矿等。脉石矿物主要为透辉石、钙铁榴石、石英、钾长石等，次为阳起石、透闪石、方柱石、绿帘石、萤石等。

2.2.3 矿石组构

热液脉型铅锌矿石的结构主要为粒状结构，见少量残余结构。矿石构造有块状构造、条带状构造、团块状构造、角砾状构造、浸染状构造。

矽卡岩型铅锌硫铁多金属矿石的组构主要有层纹状、浸染条带状、豆状、结核状构造和胶状结构等，另外有块状、脉状、微揉皱状构造和变胶状结构、胶状变余结构、填隙结构、变晶结构及交代结构等。胶黄铁矿有 2 种形态：一种呈鱼子状，外形有球状和椭球状，同心层纹一般为 2 至 4 层，颗粒细小、均一，粒径为 0.05~0.06 mm，其核多为空心；另一种呈扁椭球状，同心层纹 4 至 6 层，大小不一，粒径大者为 0.7~0.8 mm，小者为 0.2~0.3 mm，明显脱水硬化，形成一些明显呈放射状和同心状的收缩裂纹。胶黄铁矿与磁黄铁矿两者的接触界线始终保持良好，胶黄铁矿的椭圆曲面，从未见有被磁黄铁矿穿切交代的现象。沿胶黄铁矿的收缩裂纹，见有被透辉石交代的现象，此外，还见有方铅矿交代磁黄铁矿，磁黄铁矿呈蠕虫状残余体残留在方铅矿中的现象。矿石构造主要有致密块状、密集浸染状、条带状、层纹状、结核状、不规则团块状、脉状、细脉状、网脉状等。层纹结构主要由磁黄铁矿、胶黄铁矿纹层与石英纹层或与透辉石长英角岩纹层交替组成。

2.3 围岩蚀变特征

热液脉型铅锌矿体的围岩蚀变主要有碳酸盐化、硅化、绢云母化、粘土化、黄铁矿化和褐铁矿化，金属矿化主要为方铅矿化、闪锌矿化及黄铜矿化。

矽卡岩型矿体的围岩蚀变可划分为矽卡岩期、钾长石期和热液期。矽卡岩化作用是该区发育最为强烈的一种蚀变作用，主要分布于矿区的骆驼山段，

由辉石钙铁榴石矽卡岩组成。辉长岩和钙质片岩中的矽卡岩化，其组成矿物以阳起石、绿帘石、透辉石、斜长石为主，常见绿帘阳起石岩及透闪阳起石岩，在这些矽卡岩中，常见有辉长石的残留体。钾长石化发生于矽卡岩化之后，影响到矿区内的各种围岩，矽卡岩中发育大量的钾长石细脉及黄铁矿钾长石团块，出现大量的电气石、绿柱石、萤石等富含挥发分的矿物以及白钨矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿等。热液蚀变作用叠加于前 2 期蚀变之上，表现为硅化、绿帘石-阳起石化、绿泥石-碳酸盐化，造成黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等进一步富集。

3 矿床地球化学特征

3.1 成矿流体特征及来源

根据流体包裹体在常温下呈现的相态，将其划分为 3 种类型：液相包裹体、气相包裹体及气液包裹体。其中，以液相包裹体为最多，占所测试样品总量的 60%，其成分为盐水溶液；气相包裹体的成分为水气，偶见二氧化碳；气液包裹体主要由水溶液和水气组成，个别样品(S027)由盐水溶液、水气和二氧化碳组成。包裹体长轴长多数为 4~20 μm 。由表 2 可知，冷水北沟矿区流体包裹体均一温度的变化范围为 124~520 $^{\circ}\text{C}$ ，石英-多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段的温度较低，其变化范围为 124~240 $^{\circ}\text{C}$ ，钾长石-石英阶段和黄铁矿-石英阶段的温度较高，其变化范围为 252~520 $^{\circ}\text{C}$ 。成矿主要集中于黄铁矿-石英阶段和石英-多金属硫化物阶段，总体属中高温范围。包裹体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 的变化范围为 4.80%~8.68%，其中，中高温阶段的为 6.01%~8.68%，中低温阶段的为 5.11%~6.88%，石英-碳酸盐阶段的为 4.80%~5.71%。

由表 3 可知，石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 12.00‰~13.90‰，平均为 12.80‰，极差为 1.90‰。根据单样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值，采用石英-水同位素分馏方程 $1000\ln\alpha = 3.38 \times 10^6/T^2 - 3.4$ ，其中 $\alpha = (\delta\text{D}_{\text{石英}} + 1000)/(\delta\text{O}_{\text{石英}} + 1000)$ (Clayton et al, 1972)，可求得与石英氧同位素交换平衡时的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 -0.03‰~1.93‰，平均为 0.81‰。将石英流体包裹体中水的 δD 值和计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值投影到 Taylor(1979) 的氢、氧同位素组成图解(图 3)中，可看出，投影点分布较集中，几乎所有的点都落在与原生岩浆水相邻近的左下方(图 3)，推测矿区成矿热液

表 2 冷水北沟铅锌矿流体包裹体特征

Table 2 Characteristics of fluid inclusions in the Lengshuibeiou Pb-Zn deposit

测试矿物	组合类型	大小/ μm	$t_h/^\circ\text{C}$		$\alpha(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$	
			范围	平均	范围	平均
早期石英	钾长石-石英阶段	5~20	370~520	445	—	—
中期石英	黄铁矿-石英阶段	5~18	252~500	376	6.01~8.68	7.34
晚期石英	石英-多金属硫化物阶段	4~8	150~240	185	5.11~6.88	6.00
		3~13	160~230	195	—	—
	石英-碳酸盐阶段	4~6	124~160	142	4.80~5.71	5.26

注:早期及中期石英的数据引自温同想等,1996,晚期石英的数据为本文资料,由中国地质科学院矿产资源研究所测试。“—”为未测。

表 3 冷水北沟铅锌矿氢氧同位素分析结果

Table 3 Isotopic compositions of the Lengshuibeiou Pb-Zn deposit

样品号	矿石类型	采样地点	测试矿物	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}/\text{‰}$
S031-2	铅锌银石英脉状矿石	冷水北沟 S031 矿脉	石英	-80	12.0	-0.03
S027-5	铅锌银石英脉状矿石	冷水北沟 S027 矿脉	石英	-83	13.9	0.3
S027-21	铅锌银石英脉状矿石	冷水北沟 S027 矿脉	石英	-80	12.5	1.3

测试单位及测试者:中国地质科学院地质研究所同位素地质年代学实验室 杨淳、张巧大。

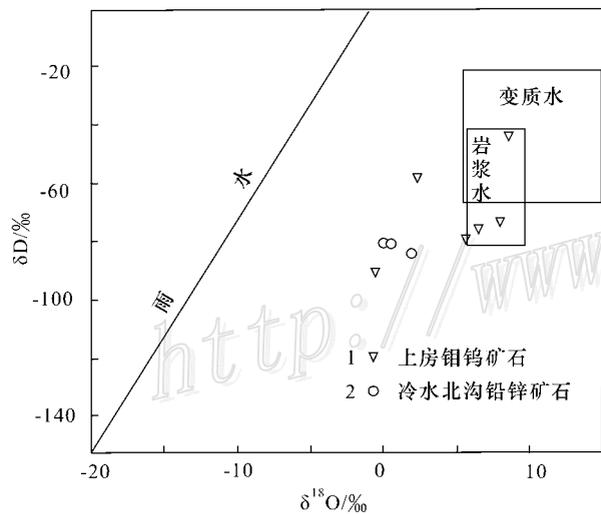


图 3 南泥湖多金属成矿带氢、氧同位素图解(上房钼钨矿石的数据引自徐兆文等,2000;冷水北沟铅锌矿石的数据为本文资料)

Fig. 3 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ plot of the Nannihu polymetallic metallogenic belt (Shangfang Mo-W ores after Xu et al., 2000; Lengshuibeiou Pb-Zn ores from this paper)

的来源以原生岩浆热液为主,可能与围岩发生了少部分同位素交换反应,并有大气降水的参与。这与上房钼钨矿床的初期成矿流体主要为岩浆水、成矿期后有部分大气降水参与等特征相似(卢欣祥等,2002;徐兆文等,2000)。

3.2 硫铅同位素特征

3.2.1 硫同位素特征

表 4 冷水北沟铅锌矿硫同位素分析结果(据燕长海,2004)

Table 4 Sulfur isotopic compositions of the Lengshuibeiou Pb-Zn deposit (after Yan, 2004)

序号	样品号	矿石类型	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
1	ST32	矽卡岩型铅锌矿石	闪锌矿	4.2
2	ST33	矽卡岩型铅锌矿石	方铅矿	3.3
3	ST30	矽卡岩型铅锌矿石	闪锌矿	3.4
4	ST31	矽卡岩型铅锌矿石	方铅矿	1.7
5	Ln0-7	矽卡岩型铅锌矿石	闪锌矿	1.3
6	S15	矽卡岩型铅锌矿石	方铅矿	2.3
7	S027-3	热液脉型铅锌矿石	方铅矿	1.5
8	S027-4	热液脉型铅锌矿石	方铅矿	0.7
9	S027-22	热液脉型铅锌矿石	闪锌矿	3.5
10	S027-2	热液脉型铅锌矿石	方铅矿	3.4

冷水北沟铅锌矿床的硫同位素分析结果(表4)显示,矿石矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 为0.7‰~4.2‰,变化范围较小,平均值为2.5‰,接近陨石硫的特征,具有深源硫的特征。从不同矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化来看,方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为2.2‰,闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为3.1‰,具有 $\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ 的演化顺序。据Ohmoto(1986)提出的热液体系中硫同位素平衡分馏理论,即在热液体系中硫化物-硫化氢达到平衡时,其硫化物具有 $\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ 的规律,说明其硫同位素分馏已达到平衡,从而可以认为,该矿床的硫同位素来源于已发生明显同位素分馏的深源硫。

3.2.2 铅同位素特征

为深入了解冷水北沟铅锌矿床的成因,对其热液

表 5 冷水北沟矿区铅同位素组成

Table 5 Lead isotopic composition of the Lengshuibeiou lead-zinc deposit

样品号	矿石	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	Th/U
LTS-1	矽卡岩型铅锌硫铁矿	方铅矿	17.798	15.705	39.095	9.7	4.38
LTS-2	矽卡岩型铅锌硫铁矿	方铅矿	17.650	15.440	38.100	9.2	4.35
S027-2	热液脉型铅锌矿石	方铅矿	17.720	15.606	38.720	9.7	4.27
S027-3	热液脉型铅锌矿石	方铅矿	17.608	15.464	38.340	9.9	4.11
S027-4	热液脉型铅锌矿石	方铅矿	17.661	15.533	38.565	9.3	4.20

注：矽卡岩型矿石的数据引自温同想等,1996;其余数据为本文资料,由中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室测试。

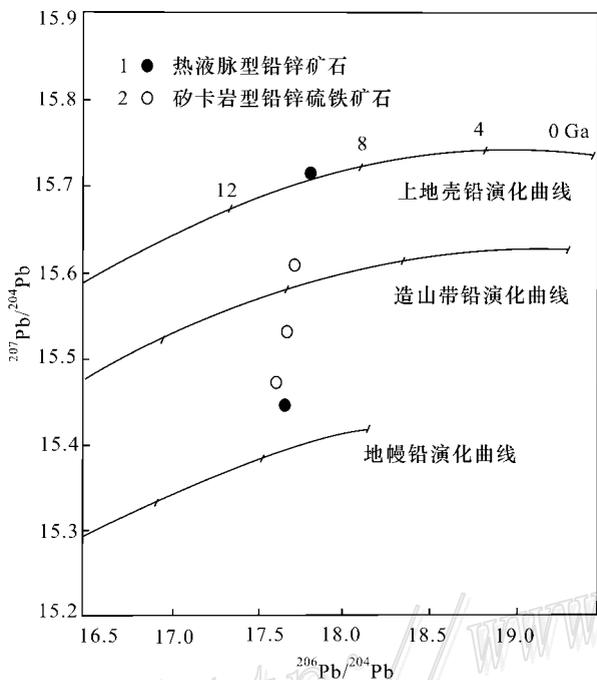


图 4 冷水北沟矿床铅同位素构造模式图

Fig. 4 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram of the Lengshuibeiou deposit

脉型铅锌银矿石样品进行了铅同位素测试。由表 5 可以看出,其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.608~17.798,均值为 17.687,极差为 0.111; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.440~15.705,均值为 15.550,极差为 0.155; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.334~39.095,均值为 38.735,极差为 0.360。上述铅同位素组成的极差均小于 1,说明其铅同位素组成相当均一。在 Doe 等(1979)的铅同位素构造模式图上投点(图 4)样品主要集中于上地幔或下地壳演化线与造山带演化线之间,总体显示出壳幔混合铅的特征,且主要来源于下地壳。该矿床铅锌银矿石的铅同位素 μ 值为 9.24~9.73,均值为 9.45。按照 Doe 等(1979)的标准(上地壳的 μ 值为大于 9.58,下地幔的值小于 9.58),显示出壳幔混合铅的特征,

与铅同位素演化曲线(图 4)的判别结果相一致。

4 矿床成因

4.1 成岩、成矿时代的一致性

冷水北沟矿区铅锌银石英脉矿石样品 HD3TW1 的 9 阶段 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 加热析氩试验结果显示,2~5 加热阶段构成了比较平坦的谱线, ^{39}Ar 析出量为 59.83%,由这部分气体得到的坪年龄为 $t_p = (137.87 \pm 0.39)\text{Ma}$,谱线中最小年龄为 $(137.22 \pm 2.49)\text{Ma}$,据对应的数据求得其等时线年龄为 $t_i = (136.12 \pm 0.44)\text{Ma}$,与坪年龄相似(图 5)。同时,初始值 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (295.80 ± 0.75)与尼尔值(295.50 ± 5)非常接近,表明坪区氩同位素不含过剩 Ar,得到的坪年龄值准确可靠,代表了石英的形成年龄。该年龄与三道庄—南泥湖、上房沟矿床 6 件辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄(141.5 ± 7.8)Ma(李永峰等,2003,2005)相接近,同时,南泥湖斑状花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 $(142 \pm 15)\text{Ma}$,上房沟花岗斑岩的全岩 K-Ar 年龄为 140~145 Ma(李永峰等,2003;2005),说明冷水北沟铅锌矿床的形成时间是燕山期。

4.2 成因初探

冷水北沟铅锌矿床属于热液脉型-矽卡岩型矿床。燕山运动期间,由于华北板块与扬子板块强大的南北向挤压、碰撞(胡受奚等,1988;陈衍景等,2004)软流圈物质上涌,幔源岩浆在壳幔边界附近发生底侵作用,诱发碰撞加厚的下地壳部分熔融,形成富含钼、钨、铅、锌、银、硫等成矿元素的花岗质岩浆,沿着 NNE 向断层与 EW 向断层的交汇处上升,并在较高的构造层次上侵位而形成花岗斑岩体,以及岩浆期后中高温含矿流体。这种岩浆流体,有一部分在岩体的外接触带交代围岩,形成矽卡岩型矿石,另一部分则随着温度和压力的降低而转化为矿

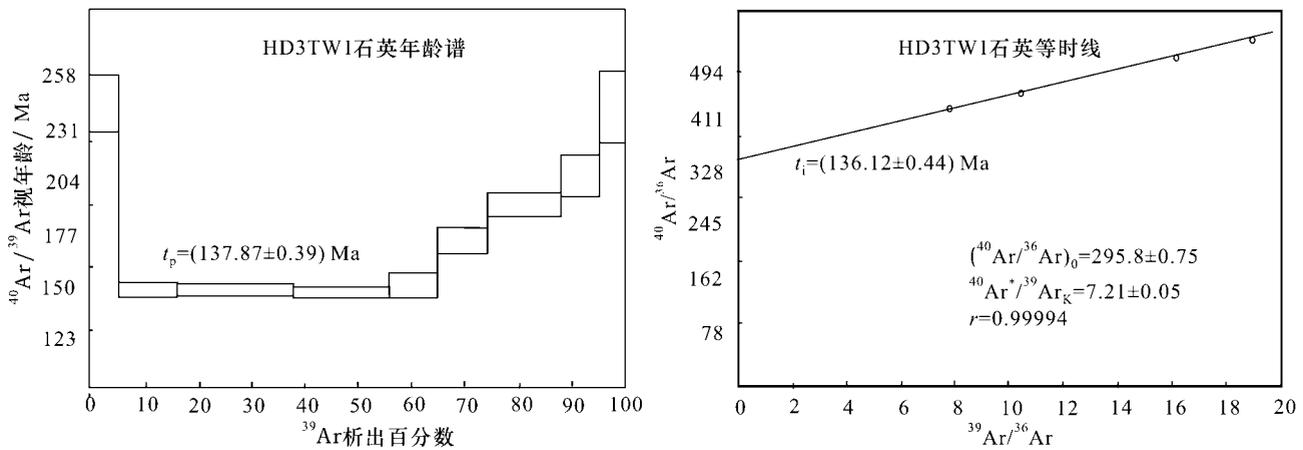


图5 HD3TW1样品石英的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄及等时线年龄图

Fig. 5 ^{40}Ar - ^{39}Ar plateau age and isochron age of quartz HD3TW1

化流体, 充填围岩断裂带, 形成热液脉型矿石。

References

- Chen Y J, Li J, Franco P, Lin Z J and Wang H H. 2004. Hydrothermal metallogeny of the Shanggong gold deposit, East Qinling: Studies on ore geology and fluid inclusion geochemistry [J]. *Mineral Petrol.*, 24(3): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Clayton R N, O Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. *J. Geophys. Res.*, B77: 3057~3067.
- Doe B R and Zartman R E. 1979. Plumb tectonic, the Phanerozoic [A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* [C]. New York: Wiley-Interscience. 22~70.
- Hu S X, Lin Q L and Chen Z M. 1988. The geology and metallogeny of the amalgamation zone between ancient North China plate and South China plate (taking Qinling-Tongbai as an example) [M]. Nanjing: Press of Nanjing University. 1~58 (in Chinese).
- Hedenquist J W and Lowenstren J B. 1994. The role of magma in the formation of hydrothermal ore deposits [J]. *Nature*, 370: 519~527.
- Hedenquist J W and Arribas Jr A. 1998. Evolution of an intrusion centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines [J]. *Econ. Geol.*, 93: 373~403.
- Li Y F, Mao J W, Bai F J, Li J P and He Z J. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu (W) ore field in the eastern Qinling and its geological significance [J]. *Geological Review*, 49(6): 652~659 (in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Hu H B, Guo B J and Bai F J. 2005. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area [J]. *Mineral Deposits*, 24(3): 292~304 (in Chinese with English abstract).
- Liu G Y. 2003. The study of passive continental margin metallogenic system in the Lushi-Luanchuan area [Dissertation for master degree] [D]. Tutor: Deng J. Beijing: China University of Geosciences. 20~36 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Yu Z P, Feng Y L, Wang Y T, Ma W F and Cui H F. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep hypabyssal granites in East Qinling Mountain [J]. *Mineral Deposits*, 21(2): 168~178 (in Chinese with English abstract).
- Lu W D, Zhao C H, Sun W Z and Yan J S. 2005. Characters of the skarn Pb-Zn deposit in Luanchuan County, Henan Province [J]. *Geological Survey and Research*, 28(1): 25~31 (in Chinese with English abstract).
- Mao D B, Zhao G X, Xi Z, Zhong C T, Chen Z H and Hu X D. 2003. Geological characteristics of Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au metallogenic systems and their exploration significance [J]. *Geological Survey and Research*, 26(4): 213~222 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits [J]. *Rev. Mineral.*, 16: 491~559.
- Taylor H P. 1979. Oxygen and hydrogen isotope relationships [A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* [C]. New York: Wiley. 236~277.
- Wang C M, Deng J, Zhang S T and Yan C H. 2005a. Analysis of diversity of mineralization and metallogenetic prognosis of Pb-Zn ores in Lushi-Luanchuan area [J]. *Geology Bulletin*, 24(10-11): 1074~1080 (in Chinese with English abstract).
- Wang C M, Deng J, Zhang S T and Yan C H. 2005b. Analyses of metallogenetic systems of lead and gold at southern margin of North China Platform in Henan [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 20(3): 170~175 (in Chinese with English abstract).
- Wang C M, Deng J and Zhang S T. 2006. Endogenic metallogenetic systems of Nannihu Mo-W-Cu-Pb-Zn-Ag-Au ore-forming area [J]. *Geological Science and Technology Information*, 25(6): 47~52 (in Chinese with English abstract).

- Wen T X and Sun Q S. 1996. The Pb-Zn-Ag deposition and metallogenic condition in the South border of North China platform [A]. In : Guan B D , ed. The Precambrian-Lower Cambrian geology and metallogenesis in the South border of North China platform in Henan Province [M]. Wuhan : Press of China University of Geosciences. 242~267 (in Chinese).
- Xu Z W , Lu X C , Yang R Y , Xie X J and Ren Q J. 2000. Geochemistry and metallogenesis of the Shangfang porphyry molybdenum deposit in Luanchuan , Henan [J]. Geology and Prospecting , 36(1): 14~16 (in Chinese with English abstract).
- Yan C H , Liu G Y , Song F and Zhang Z W. 2002. Ore-forming geological conditions and ore prospects of silver-lead-zinc-gold deposits in the Machaoying-Dushu area , Henan [J]. Geology in China , 29 (3): 305~310 (in Chinese with English abstract).
- Yan C H. 2004. Study on inner structure of Pb-Zn-Ag mineralization system in eastern Qinling [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 46~112 (in Chinese).
- Zhang B R , Li Z J and Luo T C. 1987. Regional geochemical studies in Lushi -Luanchuan area , western Henan Province [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1~62 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 陈衍景,李晶,Franco Pirajno,林治家,王海华. 2004. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用:矿床地质和包裹体研究 [J]. 矿物岩石, 24 (3): 1~12.
- 胡受奚,林潜龙,陈泽铭. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与找矿 [M]. 南京:南京大学出版社. 1~58.
- 李永峰,毛景文,白凤军,李俊平,和志军. 2003. 东秦岭南泥湖钼矿 $Re-Os$ 同位素年龄及其地质意义 [J]. 地质论评, 49 (6): 652~659.
- 李永峰,毛景文,胡华斌,郭保健,白凤军. 2005. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景 [J]. 矿床地质, 24 (3): 292~304.
- 刘国印. 2003. 卢氏-栾川地区被动陆缘成矿系统分析 [硕士学位论文] [D]. 导师:邓军. 北京:中国地质大学. 20~36.
- 卢欣祥,于在平,冯有利,王义天,马维峰,崔海峰. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景 [J]. 矿床地质, 21 (2): 168~178.
- 吕文德,赵春和,孙卫志,燕建设. 2005. 河南栾川地区矽卡岩型铅锌矿地质特征——南泥湖钼矿外围找矿问题 [J]. 地质调查与研究, 28 (1): 25~31.
- 毛德宝,赵更新,席忠,钟长汀,陈志宏,胡小蝶. 2003. Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 成矿系统的地质特征及其研究意义 [J]. 地质调查与研究, 26 (4): 213~222.
- 王长明,邓军,张寿庭,燕长海. 2005a. 河南省卢氏-栾川地区铅锌矿成矿多样性分析及成矿预测 [J]. 地质通报, 24 (10-11): 1074~1080.
- 王长明,邓军,张寿庭,燕长海. 2005b. 河南省华北陆块南缘铅金成矿系统 [J]. 地质找矿论丛, 20 (3): 170~175.
- 王长明,邓军,张寿庭. 2006. 南泥湖 Mo-W-Cu-Pb-Zn-Ag-Au 成矿区内生成矿系统 [J]. 地质科技情报, 25 (6): 47~52.
- 温同想,孙清森. 1996. 华北地台南缘的铅、锌、银矿床和成矿地质条件 [A]. 见:关保德,主编. 河南华北地台南缘前寒武纪-早寒武世地质和成矿 [C]. 武汉:中国地质大学出版社. 242~267.
- 徐兆文,陆现彩,杨荣勇,解晓军,任启江. 2000. 河南省栾川县上房斑岩钼矿床地质地球化学特征及成因 [J]. 地质与勘探, 36 (1): 14~16.
- 燕长海,刘国印,宋锋,张正伟. 2002. 河南马超营-独树一带银铅锌成矿地质条件及找矿前景 [J]. 中国地质, 29 (3): 305~310.
- 燕长海. 2004. 东秦岭铅银成矿系统的内部结构研究 [M]. 北京:地质出版社. 46~112.
- 张本仁,李泽九,骆庭川. 1987. 豫西卢氏-灵宝地区区域地球化学研究 [M]. 北京:地质出版社. 1~62.