

陕西凤县地区九子沟铜矿的特征、成因及意义

代军治¹, 李永勤¹, 王设计², 刘 辰³, 原连肖⁴, 王瑞廷¹, 王 涛¹

DAI Jun-zhi¹, LI Yong-qin¹, WANG She-ji², LIU Chen³,

YUAN Lian-xiao⁴, WANG Rui-ting¹, WANG Tao¹

1. 西北有色地质勘查局, 陕西 西安 710054; 2. 西北有色地质勘查局 717 总队, 陕西 宝鸡 721015;

3. 陕西省核工业地质调查院, 陕西 西安 710054; 4. 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054

1. Northwest Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. 717 Team of Northwest Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Baoji 721015, Shaanxi, China;

3. Shaanxi Nuclear Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

4. Northwest Geological Institute for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:九子沟铜矿是凤县—太白铅锌多金属矿集区近年来发现的新矿床。矿化类型主要表现为硅质岩型、硅化灰岩型和石英—方解石脉型。矿体主要呈层状、似层状、透镜状与围岩整合产出,且多被后期顺层或切层含矿石英—方解石脉交代,形成富矿体。综合地质特征和地球化学特征,认为该矿床成因类型为喷流沉积—改造型铜矿。九子沟等铜矿床(点)与区域上的铅锌矿床构成了热水喷流沉积矿床的元素分带模式。这一发现,指示今后该地区可在热水喷流沉积矿床元素分带模式的基础上,结合区内背斜控矿的地质特征开展找矿工作。

关键词:九子沟铜矿床;矿化类型;矿床成因;喷流沉积—改造型;陕西凤县地区

中图分类号:P618.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2011)11-1794-08

Dai J Z, Li Y Q, Wang S J, Liu C, Yuan L X, Wang R T, Wang T. Characteristics, genesis and significance of the Jiuzigou copper deposit in Fengxian County, Shaanxi Province. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(11): 1794-1801

Abstract: Jiuzigou deposit is a newly discovered copper deposit in the Fengxian-Taibai Pb-Zn polymetallic ore district. Siliceous, silicified limestone and quartz-calcite are the main mineralization types. Ore bodies in layered, stratoid and lenticular forms are in conformable contact with the host rocks and cut by late quartz-calcite veins, forming rich ore bodies. Combining geological features with geochemical characteristics, the authors hold that this ore deposit is of the SEDEX-rebuilt type. The Jiuzigou deposit and other ore deposits in this region constitute a typical SEDEX element zoning model. This discovery, in combination with other structural characteristics, will play a significant role in guiding the future exploration in this area.

Key words: Jiuzigou copper deposit; mineralization type; deposit genesis; SEDEX-rebuilt type; Fengxian area of Shaanxi Province

陕西省凤(县)—太(白)矿集区位于秦岭造山带南秦岭晚古生代裂隙带中部泥盆系热水盆地中,是陕西省重要的铅、锌、金矿产地。区域地球化学异常分析显示,凤—太地区地球化学异常元素组合以 Pb、Zn、Au、Cu 为主,是一个亲铜、亲铁的地球化学

异常区,具有巨大的找矿潜力。自 20 世纪 60 年代以来,凤—太地区先后发现特大型金矿 1 处,大型金矿 1 处,大型铅锌矿床 3 处,中小型铅锌、金矿多处,铅锌、金找矿已经取得了巨大成果^[1-5]。但长期以来,这一地区的铜矿找矿一直未取得显著的成效,更多的

收稿日期:2011-08-26;修订日期:2011-09-13

资助项目:“十一五”国家科技支撑计划课题(编号:2006BAB01A11)、“十二五”国家科技支撑计划课题(编号:2011BAB04B05-2)和公益性行业科研专项(编号:201111007-3)

作者简介:代军治(1978-),男,博士,从事金属矿产资源勘查技术管理和研究。E-mail: daijunzhi@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

是只见“星星”不见“月亮”。20 世纪 80~90 年代,西北有色地质勘查局以热水喷流沉积成矿理论为指导,在凤—太地区开展找铜矿工作,取得了较大的找矿突破,先后发现了铜矿化点多处,铜矿床 1 处。九子沟铜矿即是西北有色地质勘查局于 2000 年在凤—太矿集区内发现的一处铜矿床,累计探明矿石量 $49\times 10^4\text{t}$ 。该矿床规模虽小,但是在凤太矿集区内首次发现独立成型的铜矿床,表明凤太矿集区具有很 大寻找铜矿的潜力。

1 区域地质背景

九子沟铜矿位于凤—太矿集区西南部铅硐山—铜牌沟铅锌铜矿带内(图 1)。该矿带东西长逾 50km,宽 2.2km,矿带西端为铅、锌矿化集中区,中南部以铜矿化点为主,在平面上由中部向西形成 $\text{Cu}\rightarrow\text{Pb}$ 、 $\text{Zn}\rightarrow\text{Au}$ 的分带模式。西端已探明的矿床有铅硐山、银洞梁、手搬崖、峰崖等大一中型铅锌矿床;中南部以太山庙和九子沟铜矿床为代表。区域上,凤—太矿集区北部为滨海沉积—碳酸盐台地沉积—浅海陆棚沉积—滨海沉积,控制了金矿产的分布;西部和南部为滨海沉积—浅海碳酸盐陆棚沉积—深海陆棚沉积—深水陆棚边缘浊流沉积—滨海沉积,控制了铅、锌、铜矿产的分布^[2]。其中,中南部出露一套浅变质的碳酸盐岩—泥质碎屑岩建造地层,主要为中泥盆统古道岭组(D_{2g})中厚层含生物碎屑灰岩、硅质岩、硅化

灰岩,局部薄—中厚层含炭细晶灰岩;上泥盆统星红铺组(D_{2x})铁白云质千枚岩、含炭钙质千枚岩、粉砂质千枚岩,局部夹含炭薄层灰岩及中—厚层细晶灰岩。其中,中泥盆统古道岭组硅质岩、硅化灰岩与上泥盆统星红铺组千枚岩接触界面及其附近是区域铜铅锌矿的主要含矿层位。

区内褶皱构造发育,以铅硐山—水柏沟复背斜为代表(图 1)。该复背斜呈 NWW 向展布,轴面倾向北,长约 65km。褶皱核部为古道岭组灰岩,两翼为星红铺组千枚岩。褶皱南翼发生倒转,北翼发育一系列与主背斜平行展布的灰岩与千枚岩单斜岩层,形成单斜构造。北部灰岩单斜层与千枚岩接触带部位(层间虚脱构造或层间断裂)是该区热水沉积—改造型铜、铅锌矿体的主要含矿部位。

区内最大的断裂构造为酒奠梁—江口断裂(图 1),其次为铅硐山—汪家沟断裂,两者均呈 NWW 向延伸。酒奠梁—江口断裂位于矿带南侧,属区域性深大断裂,为秦岭泥盆系凤—太矿集区南部的分界断层,断裂带宽 20~30m,糜棱岩化、炭化比较普遍,局部有中酸性岩脉侵入,石英脉发育;铅硐山—汪家沟断裂位于铅硐山—水柏沟复背斜南翼倒转部位,沿中泥盆统古道岭组硅质岩、硅化灰岩与上泥盆统星红铺组千枚岩界面附近发育,该断裂在已知矿区局部地段直接控制着铜铅锌矿体的产出。

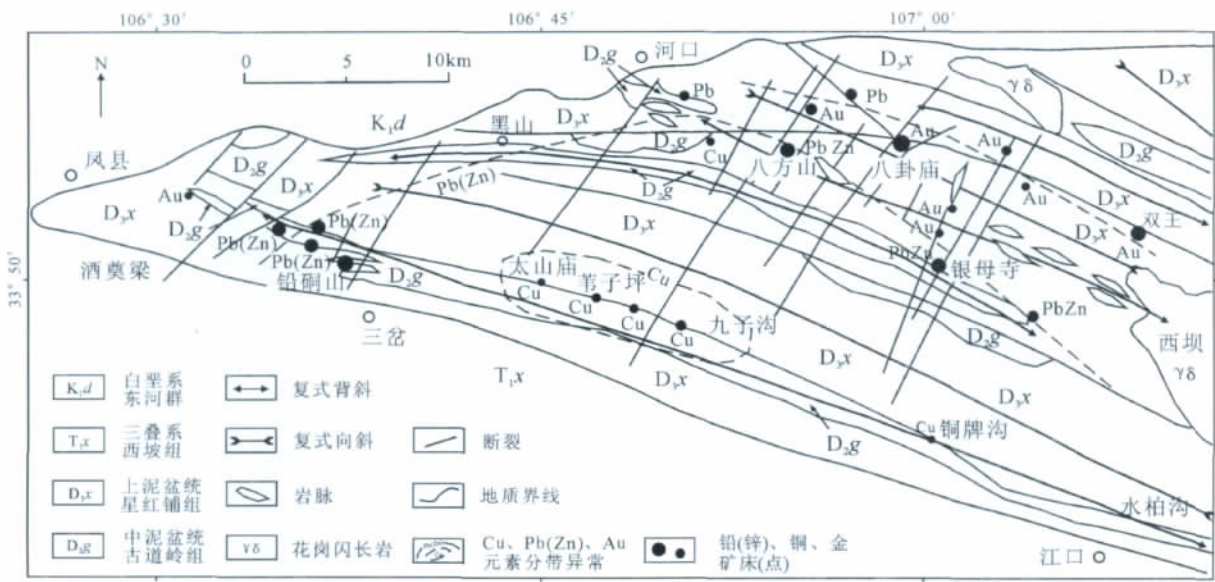


图 1 凤—太矿集区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of the Fengxian-Taibai metallogenic belt

区域上岩浆岩不发育。主要为东部的西坝岩体、北部的石地沟小岩体、NW 向的酸性岩脉带及充填于 NE 向断裂中的燕山期中酸性脉岩，其中酸性脉岩与金矿关系密切。

2 矿床地质特征

2.1 含矿地层

九子沟铜矿床位于铅硐山-水柏沟复背斜北翼中东部(图 1)。矿区内仅出露上泥盆统星红铺组下段岩层。该岩层由铁白云质千枚岩、含炭钙质千枚岩与薄—中厚层硅质岩、硅化灰岩、炭质千枚岩夹薄层灰岩组成，与下伏古道岭组灰岩呈整合接触关系。岩层为一单斜岩层，总体走向 290~300°，倾向 5~28°，总厚度大于 400m。地层中含矿岩性主要为硅质岩、硅化千枚岩、硅化灰岩及石英-方解石脉。区内变质作用微弱，主要变质岩为千枚岩、变砂岩及细晶灰岩，属低变质绿片岩相。

2.2 矿体和矿石特征

铜矿体主要赋存于星红铺组硅质岩、硅化灰岩、

细晶灰岩与千枚岩的接触带内及其附近，两组岩性界面控制，局部被断层破坏或发生错移。矿区地表矿化带长近 2.5km，宽 10~25m，局部宽 50m 左右。现已发现 1 号和 2 号矿体(图 2)，其中 1 号矿体为主要矿体。

1 号矿体倾向 NE，倾角 60~85°，为陡倾斜矿体，地表控制长 1200m，厚度 0.76~4.71m，平均厚度 2.41m，铜平均品位 1.10%。矿体形态比较简单，呈层状、似层状，局部呈不规则的脉状、透镜状，基本顺层产出(图 3、图 4)。矿化类型有千枚岩型、硅质岩型、硅化灰岩型和石英-方解石脉型(图版 1)。在空间位置上，千枚岩型矿石主要分布在矿体上部，靠近矿体上盘；硅质岩型和硅化灰岩型矿石主要分布在矿体下部，接近矿体下盘；石英-方解石脉型矿石分布于三者之间，有时交代前 3 类矿石。千枚岩型矿石沿走向不稳定，厚度小；硅质岩型和硅化灰岩型矿石沿走向比较稳定；石英-方解石脉型多交代硅质岩型和硅化灰岩型矿石，使得矿体更富。矿体与围岩界线比较清楚，上盘围岩主要为含炭钙质千枚岩，岩

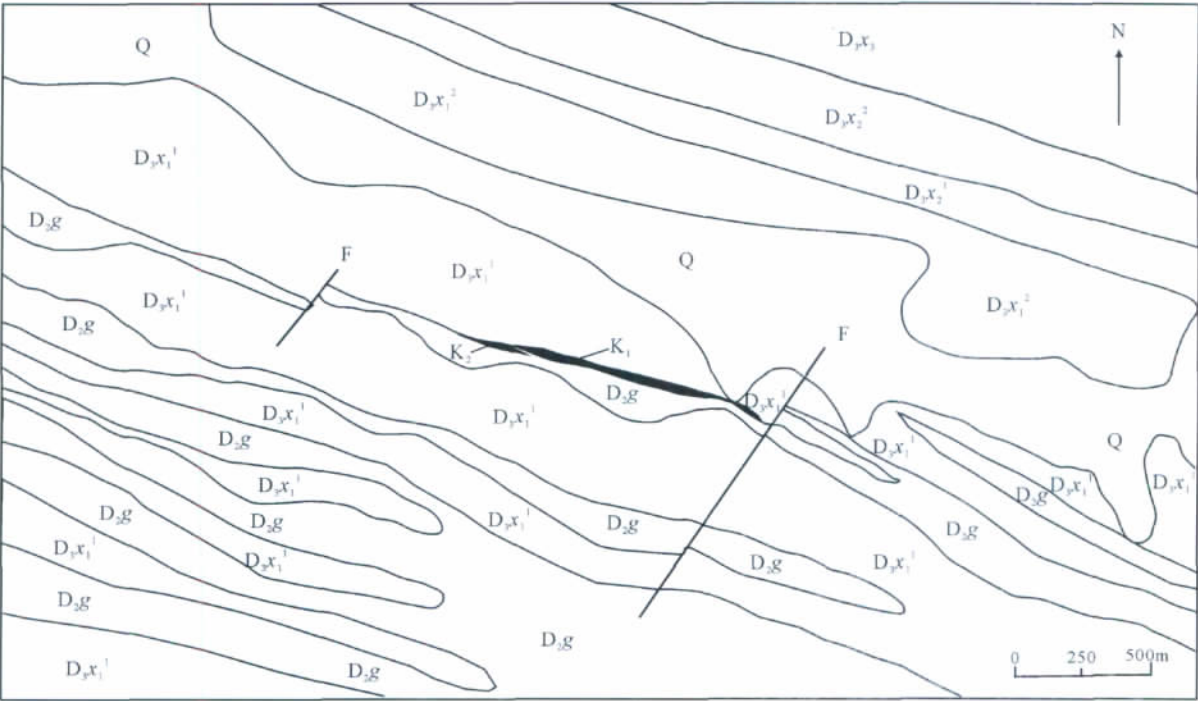


图 2 九子沟铜矿矿区地质图

Fig. 2 Geological map of the Jiuzigou copper deposit

Q—第四系；D_{3x3}—上泥盆统星红铺组 3 段绢云母化千枚岩；D_{3x2}—上泥盆统星红铺组 2 段含炭薄层灰岩；
D_{3x1}—上泥盆统星红铺组 2 段绿泥石化、绢云母化千枚岩；D_{3x1}²—上泥盆统星红铺组 1 段薄层灰岩夹绢云母千枚岩；
D_{3x1}¹—上泥盆统星红铺组 1 段绢云母千枚岩与硅质岩互层；D_{2g}—中泥盆统古道岭组灰岩；F—断层；K₁、K₂—矿体

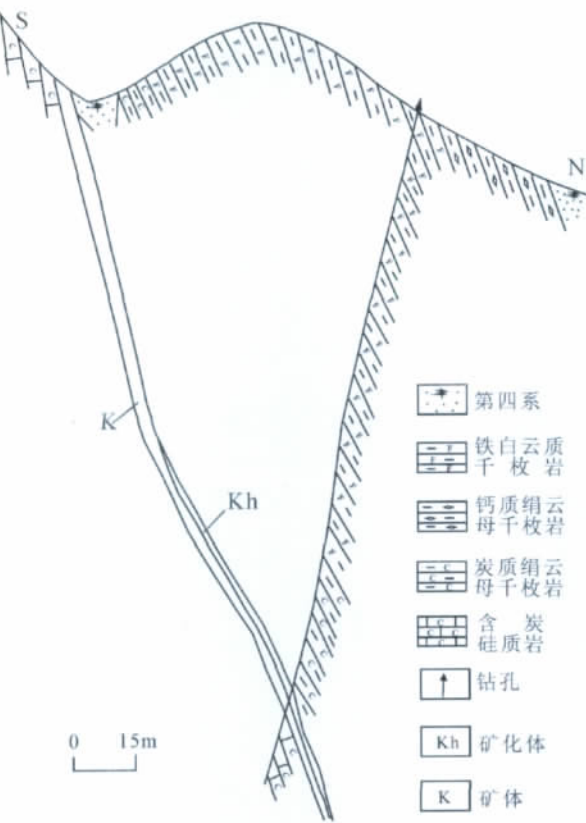


图 3 九子沟铜矿床剖面
Fig.3 Geological section along exploration line of the Jiuzigou copper deposit

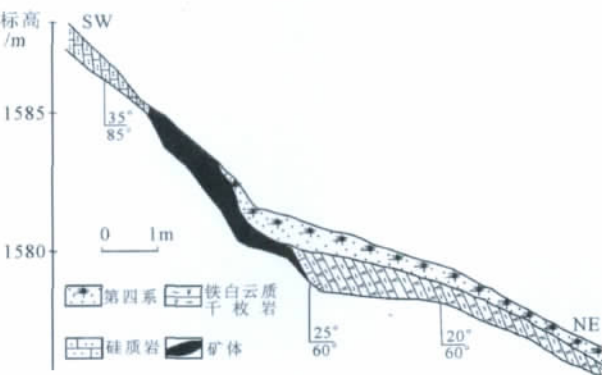


图 4 九子沟铜矿床 TC6 素描
Fig. 4 Sketch of TC6 of the Jiuzigou copper deposit

石中普遍发育石英-方解石脉、黄铁矿及炭质;下盘围岩为结晶灰岩,局部为硅化灰岩或石英-方解石脉。号矿体沿倾向延深大于 500m,走向延伸远大于倾向延深,物探充电推测号矿体有向西延伸的可能。

号矿体规模小,赋存于硅化灰岩中,分布于硅化灰岩与千枚岩接触面 10~20m 范围内,与主矿体平行,连续性较差,控制长度大于 80m,厚度不稳定,平均厚度 1.20m,铜平均品位 0.56%。矿体形态比较复杂,呈似层状、透镜状,局部呈不规则的脉状,基本顺层产出。矿化类型为硅化灰岩型和石英-方解石脉型。号矿体向西尚未控制完全。

矿石构造有星散浸染状、纹层状、条带状、角砾状、团块状、块状及脉状(图版),其中团块状、块状、脉状矿石为矿区的主要矿石类型。矿石中黄铜矿、黄铁矿主要呈自形—半自形晶粒结构、它形粒状结构,次为草莓结构、半自形粒状结构、交代结构等。黄铜矿常交代黄铁矿。矿石中主要金属矿物是黄铜矿和黄铁矿,少量方铅矿,脉石矿物主要是石英、方解石、铁白云石、绢云母、石墨等。

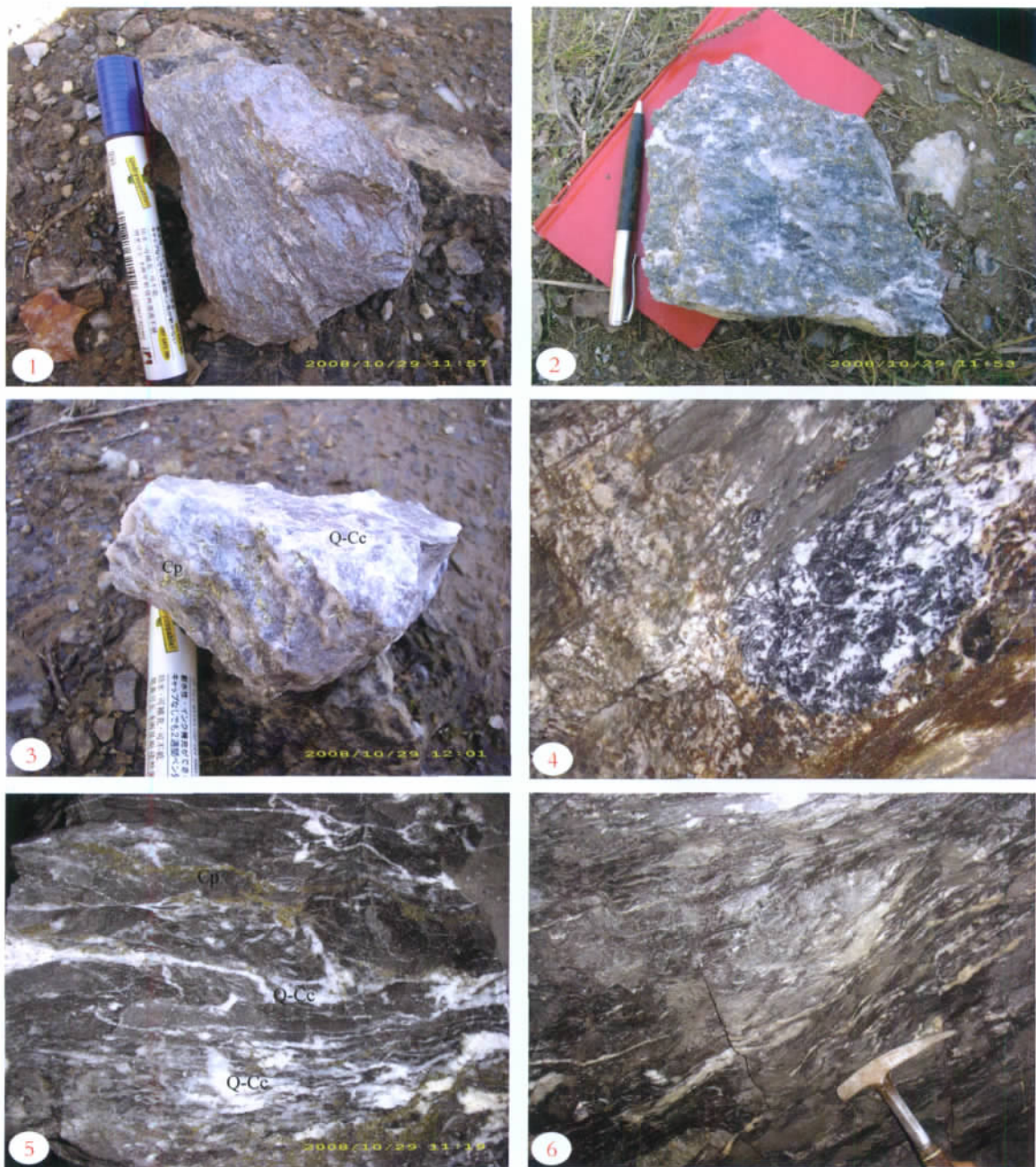
矿区围岩蚀变不发育,但在矿化带内表现得比较强烈,主要分布在矿体上下盘 10~30m 范围内。矿体上盘主要为硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、石墨化等;下盘主要为硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、灰岩退色化等。与铜矿化有关的蚀变主要有硅化、碳酸盐化、黄铁矿化。

3 含矿流体特征

原莲肖^①对不同矿化类型的矿石中的石英进行了流体包裹体研究,研究结果显示,矿化硅质岩中流体包裹体少,类型以单液相为主,少量气液两相和含 CO₂ 相包裹体。包裹体大小一般在 2~8μm 之间。均一法测得包裹体均一温度在 146~316℃之间,平均 226℃;盐度为 0.4~10wt%NaCl,平均 5.7 wt%NaCl。含矿石英-方解石脉中包裹体较发育,石英颗粒内包裹体个体略大,多在 5~20μm 之间,类型以单液相和气液两相为主,少量含 CO₂ 包裹体。包裹体均一温度为 179~339℃,平均 232℃;盐度为 2.2~12.4wt%NaCl,平均 8.16 wt%NaCl。

包裹体成分分析结果^①表明,含矿溶液成分以 H₂O 为主,富含 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、CO₂、SO₄²⁻。CO₂/H₂O 比值在矿化硅质岩中比含矿石英-方解石脉中高,且富矿石的 CO₂/H₂O 比值是贫矿石的 3.8 倍;氧化还原参数(CH₄+CO+H₂/CO₂)矿化硅质岩是含矿石英-方解石脉的 1.6 倍,表明随着成矿作用的进行,成矿环境由还原环境向氧化环境转换;Na⁺/K⁺在矿化硅质岩中平均为 6.74,在含矿石英-方解

图版 I Plate I



1—千枚岩型矿石,黄铜矿呈浸染状分布于千枚岩中;2—硅化灰岩型矿石,灰岩发生强烈硅化,黄铜矿呈浸染状分布;
3—石英-方解石脉型矿石,硅质岩已完全被石英、方解石交代;4—角砾状构造,灰岩角砾被石英-方解石胶结;
5—沿硅质岩层理产出的黄铜矿脉;6—沿硅质岩层理分布的含矿石英-方解石脉;Cp—黄铜矿;Q—石英;Cc—方解石

石脉中平均是 10.36。

H₂O/CO₂ 值也可指示含矿热液来源。在正常情况下,高 H₂O 低 CO₂ 指示热液来源于沉积变质源区,高 CO₂ 低 H₂O 指示热液来源于岩浆源区^[6]。九子沟铜矿流体中 H₂O/CO₂ 值为 3.8~11.7,指示含矿

热液可能介于沉积变质源区和岩浆源区之间,但偏重于沉积变质源区。

流体包裹体分析表明,九子沟矿床成矿温度集中于 180~240℃ 之间,属中—低温热液矿床,成矿流体属于 NaCl-H₂O-(CO₂-SO₄²⁻) 体系。

表 1 九子沟铜矿流体包裹体 H、O 同位素分析结果

Table 1 Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions from the Jiuzigou copper deposit

岩石类型	测试矿物	dD _{SMOW} /‰	d ¹⁸ O _{SMOW} /‰	d ¹⁸ O _{H₂O} /‰
弱矿化硅质岩	石英	-92.0	11.2	-1.88
强矿化硅质岩	石英	-76.0	4.8	-4.56
含矿顺层石英-方解石脉	石英	-76.3	7.8	-3.96
含矿切层石英-方解石脉	石英	-78.0	3.4	-5.99

注:由宜昌地质矿产研究所测试;计算 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 的分馏方程为 $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40^{[8]}$

4 同位素特征

4.1 H、O 同位素

对采自 号矿体的不同类型矿石的 H、O 同位素分析表明(表 1),九子沟铜矿含矿热液 δD 变化范围为 $-92.0\text{‰} \sim -76.2\text{‰}$,平均 -80.6‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围为 $-5.99\text{‰} \sim -1.88\text{‰}$,平均 -4.1‰ 。该值与凤-太矿集区内八方山-二里河、铅硐山铅锌矿硅质岩的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -3.37\text{‰} \sim -0.07\text{‰}$,平均 $-2.02\text{‰}^{[7]}$ 基本一致,表明含矿流体形成于相同的沉积环境。从 H-O 同位素图(图 5)上可以看出,九子沟铜矿含矿热液 H、O 同位素值靠近雨水线而远离原生岩浆水和变质水,表明含矿流体属演化了的雨水或海水。流体包裹体分析也表明,含矿流体中包裹体的均一温度集中于 $180 \sim 240^\circ\text{C}$ 之间,盐度值为 $0.4\% \sim 12.4\%$,平均 6.7% ,属于中低温、低盐度流体,指示成矿流体主要来源于大气降水。

4.2 S 同位素

对 号矿体内不同矿化岩石中硫化物进行了 S 同位素分析。由表 2 可知,九子沟铜矿不同矿化岩石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $6.21\text{‰} \sim 9.37\text{‰}$,平均 7.44‰ ,极差 3.16‰ ,远小于 10‰ ,虽然矿化硅质岩中硫化物的 S 同位素值低于千枚岩和灰岩,但总体上不同矿化岩石中的 S 同位素变化范围较小,表明硫化物中 S 分馏比较均一。

S 同位素分析表明,九子沟铜矿不同介质中 S 同位素变化范围小,低于海水 S 但又较富重 S 的特点,这与同一成矿带上八方山、铅硐山铅锌矿矿体硫化物的 $\delta^{34}\text{S} = 0.6\text{‰} \sim 12.1\text{‰}$ (平均 8.35‰)^[9] 比较接近,且沉积环境相似,均赋存于古道岭组与星红铺组接触部位,显示了铜矿和铅锌矿 S 源相似,主要来自地壳,且有海水硫酸盐中 S 的加入。

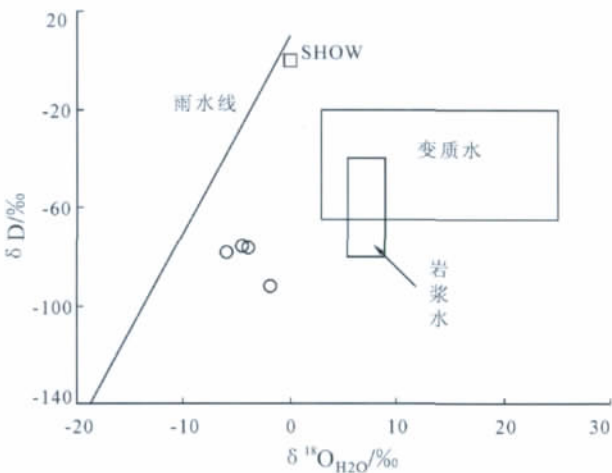


图 5 九子沟铜矿流体包裹体 H、O 同位素图解

Fig. 5 Plot of hydrogen and oxygen isotopes of fluid inclusions from the Jiuzigou copper deposit

表 2 九子沟铜矿 S 同位素分析结果

Table 2 Analytical results of sulfur isotope compositions of the Jiuzigou copper deposit

岩 性	测试矿物	d ³⁴ S/‰
矿化硅质岩	黄铜矿	6.21
矿化千枚岩	黄铜矿	7.50
矿化灰岩	黄铜矿	9.37
矿化石英	黄铜矿	6.69

注:由宜昌地质矿产研究所测试

5 矿床成因

九子沟铜矿位于秦岭泥盆系热水沉积盆地西南缘,其形成经历了泥盆系盆地的沉积演化阶段和中生代构造岩浆热液改造阶段。成矿作用有以下特征。

沉积特征:①九子沟铜矿床位于西秦岭泥盆系三级热水沉积盆地内^[10],成矿环境与铅硐山、银洞梁

等热水喷流-改造型铅锌矿床^[2,9]相似,同处于凤-太泥盆系铅、锌、铜成矿带内。②李延河等^[7]通过对凤-太矿田内铅硐山、八方山、银母寺等铅锌矿床容矿硅质岩的 Si、O 同位素研究表明,这些矿床硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-0.3\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为 $18.6\text{‰} \sim 21.0\text{‰}$,该值与海相碳酸盐地层中正常沉积的硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值明显不同,而与海底喷气活动形成的硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值相近,并指出凤-太矿田内铅、铜矿床均由海底喷气作用形成。九子沟铜矿与铅硐山、银母寺铅锌矿床处于同一矿带,赋矿地层相同,因此笔者认为九子沟铜矿床赋矿硅质岩应为热水喷流沉积成因。③容矿岩石主要为热水沉积的层状硅质岩和硅化灰岩,硅质岩沿层位走向稳定,硅质岩中石英颗粒结晶细小,大小均匀。④矿体呈层状、似层状、透镜状产出,局部有膨大缩小、尖灭再现的现象,沿接触带分布比较稳定。⑤矿化类型主要为硅质岩、硅化千枚岩和硅化灰岩,矿体主要赋存在硅质岩中,硅化千枚岩和硅化灰岩中少。⑥矿床矿物成分较简单,以黄铜矿、黄铁矿为主,伴有方铅矿和闪锌矿。⑦矿区范围内未见岩浆岩体分布,围岩蚀变和变质变形程度低,矿体显示出层控的特性。

热液弱改造特征:①矿体中发育顺层和切层热液石英-方解石脉,顺层石英-方解石脉分布于硅化灰岩中,沿矿体走向分布,金属矿物分布于脉体边部,呈细脉状或团块浸染状;切层的石英-方解石脉穿切硅化灰岩,金属硫化物多呈星散浸染状分布。②矿石中可见明显的交代现象,且角砾构造发育,角砾为硅化灰岩,胶结物为方解石和石英。③尽管矿区未见岩浆岩体,但矿体上下盘围岩发育较明显的硅化、碳酸盐化和黄铁矿化。④矿体受星红铺组地层层间虚脱构造及层间断裂控制,局部被断裂破坏或发生错移。

前已述及,成矿流体主要来源于大气降水;S 同位素组成与区域铅锌矿相似,主要来自地壳。因此,通过区域成矿地质条件、岩矿石结构构造、成矿流体和同位素分析,认为九子沟铜矿床成因与区域铅锌矿相似,属喷流沉积-改造型铜矿床。

6 发现九子沟铜矿床的意义

九子沟铜矿床的发现可谓历经坎坷。自 20 世纪 60 年代以来,陕西省多家地矿单位曾以岩浆热液型或矽卡岩型成矿理论为指导在凤-太地区开展找

铜矿的工作,仅发现了几个铜矿化异常点,无显著的储量成果。20 世纪 80~90 年代,西北有色地质勘查局以喷流沉积成矿理论为指导,继续在该地区开展找铜矿的工作,取得了较大的找矿突破,先后发现了九子沟、太山庙、甘沟、银厂沟、丁家庄、铜牌沟等铜矿(床)点多处。这些铜矿(床)点矿化均赋存于中泥盆统古道岭组灰岩与上泥盆统星红铺组千枚岩接触界面及附近层位的铁白云质硅质岩、炭质千枚岩中;铅硐山-水柏沟复背斜控制了这些铜矿(床)点的展布范围;层间构造控制了矿体、矿化体的产出;矿床成因均属喷流沉积-改造型。这些铜矿(床)点的发现表明人们对其认识由浅入深、循环往复不断进步。他们的发现不仅掀开了该区铜矿找矿的新一页,而且对秦岭泥盆系地区铅锌铜矿床的地质找矿和科学研究都有重要意义。

凤-太地区九子沟、太山庙等铜矿床的发现,表明以太山庙-铜牌沟地区为中心(图 1),凤-太地区赋矿岩层表现出明显的地球化学元素分带特征。横向上,中心部位富 Cu,外围富 Pb、Zn、Au,异常元素组合由中心向外依次为 $\text{Cu} \rightarrow \text{Pb}$ 、 $\text{Zn} \rightarrow \text{Au}$;垂向上,凤-太盆地西南缘埋深大,东北缘埋深浅^[2],盆地东北缘产出有铅、锌、金矿产,西南缘主要产出铜矿。这一地球化学元素分带特征与典型热水喷流沉积矿床的金属分带模式^[11-12]相似。从区域范围内考虑,并结合矿床发育的硅化灰岩角砾构造和团块状、脉状结构特征,认为凤-太矿集区苇子坪-铜牌沟地区可能接近海底热水喷流元素分带中心。岩相古地理证据也支持喷溢中心的观点。岩相古地理研究表明^[2],泥盆纪古道岭组沉积阶段,凤-太地区处于浅海台地环境,沉积环境比较稳定,进入星红铺组沉积阶段,区内同生断裂比较活跃,导致凤-太北部地区由浅海台地环境逐渐过渡为浅海陆棚环境,而凤-太南部地区则由浅海台地-陆棚环境演化为半深海盆地环境,加剧了南部热水喷流活动的发生,发育一套硅质岩热水沉积建造。依照热水喷流沉积矿床的元素分带模式,凤-太矿集区具有寻找与喷流沉积有关的大型铜矿床的潜力。事实上,九子沟铜矿目前虽控制到矿石量 $49 \times 10^4 \text{t}$,但 1 号、2 号矿体尚未得到完全控制。物探充电法揭露 3 号和 4 号矿体向西仍有异常存在。推测九子沟铜矿矿体有向西延伸的可能。此外,基础地质调查显示,九子沟铜矿西侧苇子坪、太山庙地区存在强烈的铜化

探异常,其含矿层位稳定,岩性、矿化蚀变特征、赋矿部位均与九子沟铜矿相似。因此,区带内找矿潜力较大。建议今后该地区的找矿工作在热水喷流沉积矿床元素分带模式的基础上,结合区带内背斜构造控矿的地质特征开展找矿工作。

致谢:野外工作期间得到西北有色地勘局七一七总队汶博高级工程师的帮助,审稿专家对文稿提出了建设性的修改意见,在此一并表示感谢。

参考文献

[1]王集磊,何伯堉,李健中,等.中国秦岭型铅锌矿床[M].北京:地质出版社,1996:79-251.
[2]王相,唐荣扬,李实,等.秦岭造山与金属成矿[M].北京:冶金工业出版社,1996:273-301.
[3]李建华.凤太矿田铜矿找矿潜力分析及靶区优选[J].有色金属矿产与勘查,1999,8(1):5-9.
[4]李发林,王瑞廷,李晓雄.陕西凤太地区铅-锌、金成矿规律及找矿选区[J].矿产与地质,2004,18(4):143-147.
[5]王东生,王瑞廷,代军治,等.秦岭造山带金属矿床的“二元控矿”

特征[J].地质学报,2009,83(11):1719-1729.
[6]卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体[M].北京:科学出版社,2004:241-268.
[7]李延河,蒋少涌,薛春纪.秦岭凤-太矿田与柞-山矿田成矿条件及环境的对比研究[J].矿床地质,1997,16(2):171-180.
[8]Clayton R N, Mayeda T K, Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. J. Geophys. Res., 1972, 77: 3057-3067.
[9]张复新,王俊发.陕西秦岭地区泥盆系同生断裂、岩相与海底喷流沉积铅锌矿床[J].矿床地质,1991, 10(3):217-231.
[10]方维萱.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[J].西北地质科学,1999, 20(2):28-40.
[11]Lydon J M. Chemical parameters controlling the origin and deposition of sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits[M]//Sangster D F. Short course in sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits. Mineralogical Association of Canada, Victoria, 1983: 175-250.
[12]MacIntyre D G. SEDEX-sedimentary-exhalative deposits [C]//McMillan W J, et al.Ore deposits, tectonic and metallogeny in the Canadian Cordillera. Victoria: Queen's Printer for British Columbia, 1992:25-66.
① 原莲肖.九子沟铜矿流体包裹体特征研究. 2002.



《地质通报》第 30 卷第 12 期要目预告

中国冻土区天然气水合物调查研究现状与展望	张洪涛等
祁连山冻土区天然气水合物科学钻探工程概况	祝有海等
青海省天峻县木里煤田聚乎更矿区构造轮廓和地层格架	文怀军等
祁连山冻土区天然气水合物科学钻探试验井内中侏罗统的沉积学特征	庞守吉等
祁连山冻土区天然气水合物岩性和分布特征	王平康等
祁连山冻土区天然气水合物烃类气体组分的特征和成因	黄霞等
祁连山冻土区天然气水合物气体组分的气相色谱法测定	贺行良等
祁连山冻土区天然气水合物激光拉曼光谱特征	孟庆国等
祁连山冻土区 DK-1 钻孔天然气水合物测井响应特征和评价	郭星旺等
祁连山冻土区天然气水合物 DK-2 钻孔微生物群落	韩路等
青海省天峻县木里天然气水合物发现区浅表地球化学特征	杨志斌等
青海省天峻县木里地区天然气水合物微生物地球化学检测法(MGCE)试验	梅博文等
青海省天峻县木里煤田煤层气资源的多层次模糊数学评价	邵龙义等
祁连山永久冻土带天然气水合物钻探工艺与应用	张永勤等
青海省天峻县木里地区天然气水合物地震响应特征	徐明才等
青海黄河源盆地早更新世以来环境演变	韩建恩等
东昆仑山西段铁矿成矿机制和找矿模型	刘艳宾等
中国矿山地质灾害分布特征	何芳等