

陕西省略阳县徐家沟铜矿床成矿地质特征及控矿因素

李福让¹⁾, 王瑞廷²⁾, 高晓宏¹⁾, 陈荔湘¹⁾

1) 西北有色地质勘查局 711 总队, 陕西勉县, 724212; 2) 西北有色地质勘查局, 西安, 710054

内容提要:徐家沟铜矿床位于勉(县)-略(阳)-阳(平关)铜多金属矿化集中区中部的铜厂矿田西北部, 矿体产于中上元古界郭家沟组中的片理化细碧岩带内, 已圈定铜矿体 13 条, 多为盲矿体。矿石主要自然类型为黄铁矿化-磁黄铁矿化-片理化细碧岩型, 属于火山沉积-构造、岩浆改造型铜矿床。郭家沟组中的细碧岩为铜的主要矿源岩, 细碧岩中的近东西向构造片理化带为矿质富集提供了富集通道和空间。铜厂闪长岩体为成矿提供了动力、热源和主要硫源, 成矿受上述地层岩性、构造、岩浆岩因素联合控制。

关键词: 铜厂矿田; 徐家沟铜矿床; 地质特征; 控矿因素

勉(县)-略(阳)-阳(平关)地区是陕西省重要的铜多金属矿化集中区之一, 铜厂矿田位于其中部, 其中已勘查和开发了铜厂中型铜矿床, 铜厂中型铁矿床。徐家沟铜矿床位于铜厂矿田的西北部, 该矿床由西北有色地质勘查局七一一总队于 2005 年发现, 目前已完成了局部详查工作, 圈定矿体 13 条, 地表仅一处露头, 多数矿体为盲矿体, 矿体在深部具有条数增多及变富、变厚趋势, 资源潜力较大。目前对于矿田内铜厂铁、铜矿床地质、地球化学特征、控矿因素等研究程度较高(王东生, 1992^①; 丁振举等, 1998a, 1998b; 王平安等, 1998; 韩润生等, 2003; 宋小文等, 2004; 齐文等, 2005; 王瑞廷等, 2004; 王瑞廷, 2005^②; 西安地质矿产研究所, 2006; 周圣华, 2008), 但对于徐家沟铜矿床研究程度较低, 控矿因素尚不明确, 本文对徐家沟铜矿床已基本查明部分的地质特征进行了详细描述, 研究了矿床主要控矿因素, 为今后矿床进一步勘查、整个矿田内铜矿找矿及综合研究提供了基础性资料。

1 区域地质背景

勉(县)-略(阳)-阳(平关)三角区为扬子板块西北缘的一增生地体, 南侧以汉江大断裂为界与扬子板块相邻; 北侧以“勉略康构造混杂岩带”与秦岭造山带相接(图 1)。

“三角地区”地层主要有上太古界鱼洞子组(Ar₃y), 出露于区域北部, 其年龄为 2688 ± 84Ma(张国伟等, 1995), 由斜长角闪岩、长英质片岩、钠长绿泥片岩、浅粒岩、变粒岩、绿泥绿帘片岩、磁铁阳起片岩以及磁铁石英岩等组成, 其中产出有铁、金矿产; 中下元古界何家岩岩群(Pt₁₋₂h), 出露于接官亭-何家岩一带, 与其它岩群(组)呈韧性剪切断裂带接触, 为一套低钾拉斑-钙碱过渡系列、喷溢-爆发相变质基性-酸性火山沉积岩系, 由细碧岩、角斑岩、石英角斑岩、石英岩、英安岩、凝灰岩、磁铁石英岩、绿泥绿帘钠长片岩、绢云母绿泥千枚岩等组成, 其 Sm-Nd 模式年龄为 2200Ma(张国伟等, 1995), 产出有铁、铜、金等矿产; 中元古界大安岩群(Pt₂d), 出露于红岩沟-大安一带, 与上覆震旦系呈断裂接触, 为一套细碧-角斑岩建造火山沉积岩系, 由细碧岩、角斑岩、细碧质凝灰岩、角斑质凝灰岩、绿泥绢云母石英片岩、绢云母千枚岩、凝灰质千枚岩、铁碳酸盐岩等组成, Sm-Nd 模式年龄为 1836Ma, 等时线年龄 1611 Ma(张国伟, 1995), 产出有金、铜、铁等矿产及铅锌多金属矿化; 中上元古界郭家沟组(Pt₂₋₃g)分布硤口驿-铜厂-罗家山-徐家坝一线, 长 46km, 宽 3~5km, 呈北东向带状展布, 与何家岩岩群、震旦系盖层呈断层接触关系, 由细碧岩、中基性集块岩、角斑岩、中基性凝灰岩、凝灰质板岩、千枚岩、片岩夹铁

注: 本文由“十一五”国家科技支撑计划课题(编号 2006BAB01A11)资助的成果。

收稿日期: 2009-06-11; 改回日期: 2009-09-22; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 李福让, 男, 1966 年生。研究生, 高级工程师, 从事地质矿产勘查专业。通讯地址: 724212, 陕西勉县西色 711 总队; Email: lifurang@sohu.com。

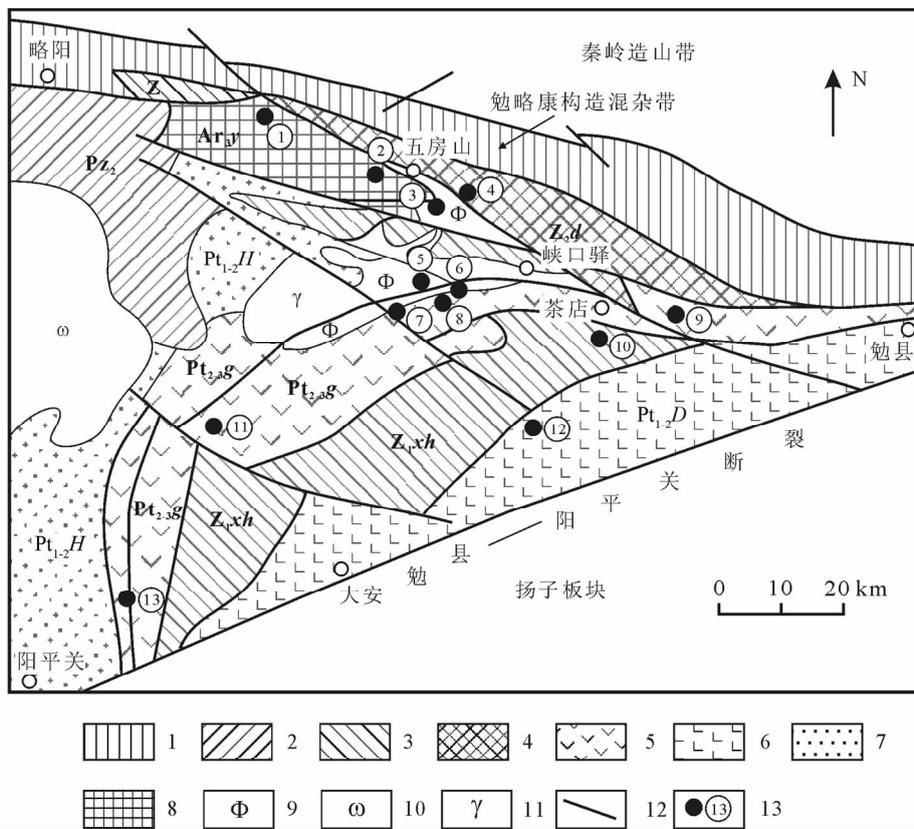


图 1 勉县—略阳—阳平关地区地质略图

Fig. 1 The brief geological map of Mianxian-Lveyang-Yangpingguan area

1—勉略构造混杂岩带; 2—上古生界; 3—下震旦统雪花太坪组; 4—中震旦统断头崖组; 5—中上元古界郭家沟组; 6—中元古界大安岩群; 7—中下元古界何家岩岩群; 8—上太古界鱼洞子组; 9—超基性岩; 10—辉长岩; 11—花岗岩; 12—断裂; 13—矿床、矿点(①—鱼洞子铁矿床; ②—金洞子金矿点; ③—煎茶岭镍矿床; ④—煎茶岭金矿床; ⑤—东沟坝铅锌多金属矿床; ⑥—铜厂铁矿床; ⑦—徐家沟铜矿床; ⑧—铜厂铜矿床; ⑨—张家坪铜矿点; ⑩—火地沟金矿点; ⑪—银洞山铅锌多金属矿床; ⑫—李家沟金矿床; ⑬—大石岩铜金矿床)

1—Mianxian-Lveyang construction intermix rock belt; 2—upper Paleozoic; 3—Lower Sinian system Xuehuataiping Formation; 4—Middle Sinian system Duantouya Formation; 5—Middle-Upper Proterozoic Guojiagou Formation; 6—Middle Proterozoic Daan Group; 7—Middle-Lower Proterozoic Hejiayan Group; 8—Upper Archean Yudongzi Formation; 9—ultrabasic rock; 10—gabbro; 11—granite; 12—fault; 13—deposit or mineralization (①—Yudongzi iron deposit; ②—Jindongzi gold mineralization; ③—Jianchaling nickel deposit; ④—Jianchaling gold deposit; ⑤—Donggouba Pb-Zn polymetallic deposit; ⑥—Tongchang iron deposit; ⑦—Xujiagou copper deposit; ⑧—Tongchang copper deposit; ⑨—Zhangjiaping copper mineralization; ⑩—Huodigou gold mineralization; ⑪—Yindongshan Pb-Zn polymetallic deposit; ⑫—Lijiagou gold deposit; ⑬—Dashiyuan Cu-Au deposit)

碳酸盐岩透镜体等组成, Rb-Sr 法等时线年龄为 800~1000Ma, 产出有铜、铅、锌、金等矿产, 铜厂矿田位于该岩浆岩带中段; 雪花太坪组 ($Z_1.ch$) 主要分布于汉王山—鸡公石一带, 为一套碎屑-化学沉积岩系, 其中已发现有大石岩铜金矿床、银洞山铅锌多金属矿床、铜厂铜矿床、徐家沟铜矿床等一系列铜、金多金属矿床(点), 局部见到铅、锌、银矿化及铁、锰、铬矿化; 断头崖组 ($Z_2.d$) 主要分布于略阳—五房山—茶店一带, 为一套碎屑-化学沉积岩系, 与下伏火山岩呈不整合或折离剪切断层接触, 由白云岩、灰岩、砂质灰岩、泥灰岩、白云质灰岩、砂砾岩、板岩、砂板岩、泥钙质板岩、炭质板岩等组成, 以产沉积型磷、锰矿为

特征; 上古生界 (Pz_2) 分布于接官亭以西, 由泥盆系和石炭系的碎屑-化学沉积岩组成。

区域北部构造线呈北西西向, 南部构造线呈北东东向, 两者在东部交汇于勉县附近。受长期活动的北东向勉县-阳平关断裂、北西向勉略构造混杂带的影响, 形成复杂的断裂网络, 其中以与区域构造线一致的北西向、北东向断裂构造最为发育, 表现为不同时期的剪切带和脆性断层, 沿断裂见有铜、金、银等多金属矿化。

区域岩浆侵入活动频繁, 从酸性—超基性均有出露, 规模不一, 为多期岩浆侵入活动产物, 与铜、金、镍等多金属矿化关系密切。

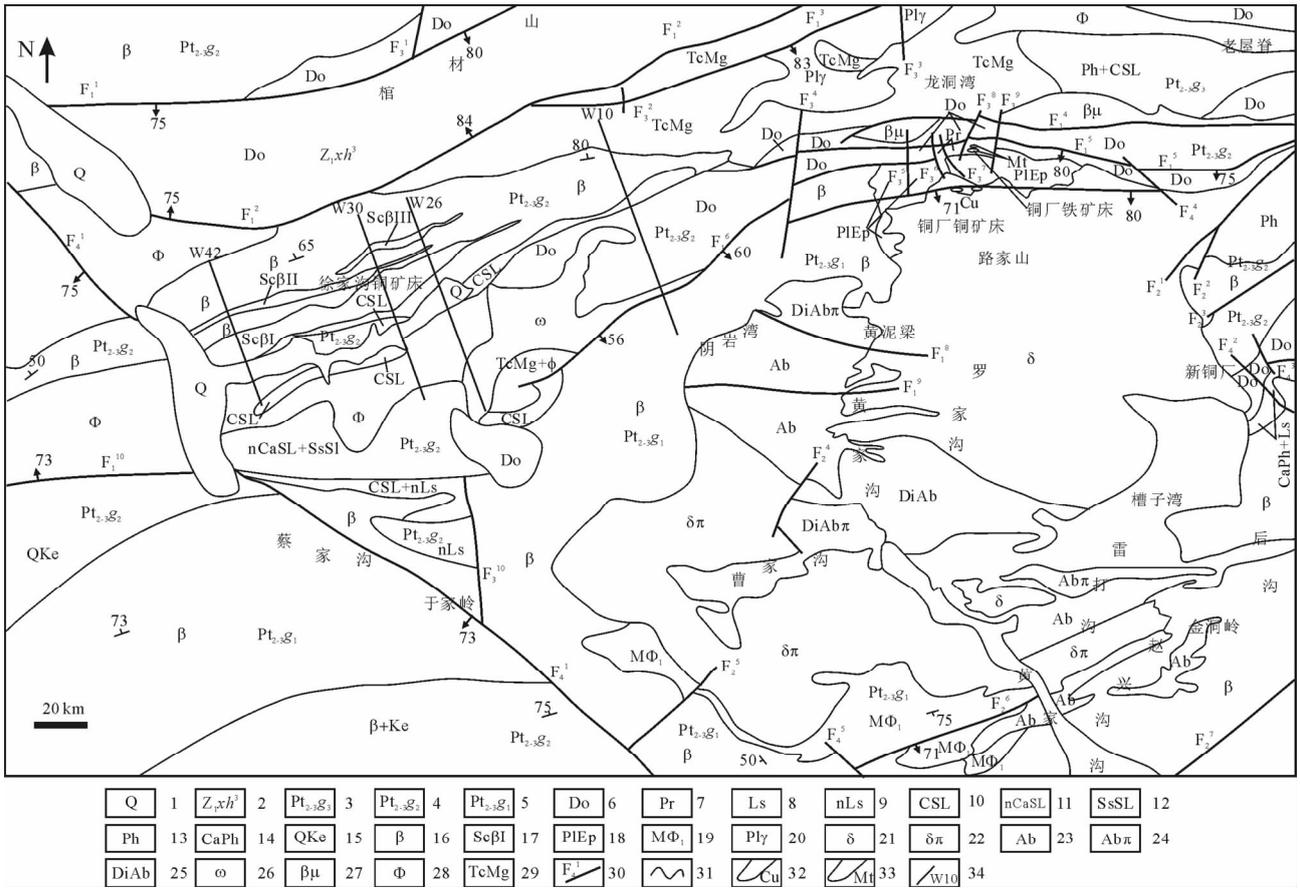


图 2 铜厂矿田地质图

Fig. 2 Geological map of Tongchang ore field

1—第四系;2—下震旦统雪花太坪组;3—中上元古界郭家沟组上岩段;4—中上元古界郭家沟组中岩段;5—中上元古界郭家沟组下岩段;6—白云岩;7—透闪岩;8—灰岩;9—泥质灰岩;10—炭质板岩;11—泥钙质板岩;12—砂质板岩;13—千枚岩;14—钙质千枚岩;15—石英角斑岩;16—细碧岩;17—片理化细碧岩带及编号;18—斜长绿帘岩;19—细粒基性火山角砾岩;20—斜长花岗岩;21—闪长岩;22—闪长斑岩;23—钠长岩;24—钠长斑岩;25—透辉钠长岩;26—辉长岩;27—辉绿岩;28—蛇纹岩;29—滑石菱镁岩;30—断裂及编号;31—地质界线;32—铜矿体;33—磁铁矿体;34—勘探线及编号

1—Quaternary; 2—Lower Sinian system Xuehuataiping Formation; 3—Upper of Middle-Upper Proterozoic Guojiagou Formation; 4—Middle of Middle-Upper Proterozoic Guojiagou Formation; 5—Lower of Middle-Upper Proterozoic Guojiagou Formation; 6—dolomite; 7—Tremolite rock; 8—limestone; 9—argillaceous limestone; 10—carbonaceous slate; 11—argillaceous calcareous slate; 12—sand slate; 13—phyllite; 14—calcareous phyllite; 15—quartz keratophyre; 16—spilite; 17—schistose structure spilite and its number; 18—plagioclase epidote rock; 19—granule volcanic breccia; 20— plagioclase granite; 21—diiorite; 22—syenite porphyry; 23—albite; 24—albite-porphyry; 25—diopside albite; 26—gabbro; 27—diabase; 28—serpentinite; 29—talc magnesite rock; 30—fault and its number; 31—geological borderline; 32—copper ore body; 33—magnetite ore body; 34—the exploratory line and its number

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

徐家沟铜矿床位于“勉(县)-略(阳)-阳(平关)三角地区”中部(图 1),铜厂铜矿田西北部(图 2)。

铜厂矿田内地层由中上元古界郭家沟组(Pt₂₋₃g)细碧-角斑岩系组成基底,下震旦统雪花太坪组(Z₁xh)碎屑-化学沉积岩系组成盖层,构成“两层式”结构。郭家沟组(Pt₂₋₃g)分为三个岩段,下岩

段(Pt₂₋₃g₁)下部为中-基性火山角砾熔岩,上部为块状细碧岩层;中岩段(Pt₂₋₃g₂)下部为厚层白云岩,少量铁质灰岩、灰岩,中部为凝灰质千枚岩-板岩层,上部为细碧岩,是矿床的赋矿层位;上岩段(Pt₂₋₃g₃)下部为灰质白云岩,上部为黄色钙质绢云母千枚岩,含炭千枚岩夹薄层灰岩。

矿田范围内主要褶皱构造为铜厂复式背斜,轴向近东西向,核部出露郭家沟组下岩段(Pt₂₋₃g₁)的中-基性火山角砾岩、角砾熔岩及细碧岩,两翼则出露郭家

沟组中岩段(Pt₂₋₃g₂)、上岩段(Pt₂₋₃g₃)。由于断裂影响及岩体侵入,褶皱形态不完整,该复式背斜核部侵入了铜厂闪长岩体。矿田内断裂构造十分发育,按其方向划分为近东西向断裂组、北东向断裂组、近南北向断裂组和北西向断裂组。近东西向断裂及片理化带是矿田内重要的控矿构造,铜厂铜矿床北矿带、铜厂铁矿床、徐家沟铜矿床均受该组构造控制。

矿田内从酸性—超基性侵入岩体均有出露。超基性岩体的岩性主要为蛇纹岩、滑石菱镁岩,均为超基性岩的变质岩,在矿区北部的徐家沟—铜厂一带呈北东东向带状展布,岩体侵入于郭家沟组中,与火山岩呈侵入接触关系,在棺材山南坡则与雪花太坪组白云岩呈断裂接触关系,矿区北部沿 F₁⁶ 断裂上盘产出的半隐伏蛇纹岩墙是铁矿体的主要矿化岩石和近矿围岩,其中滑石蛇纹磁铁岩、透闪滑石磁铁岩等构成重要的矿石自然类型。基性岩主要为辉长岩、辉绿岩,除在徐家沟呈规模较大的岩体以外,其它地段均呈小岩脉产出。中性侵入体主要有铜厂闪长岩体及新铜厂的闪长岩株,在其它地段局部见有小的闪长岩脉,闪长岩体与铜矿化关系密切,铜厂铜矿床产于闪长岩体的内、外接触构造带中,徐家沟铜矿床产于该岩体的西侧。酸性侵入体有产于铜厂闪长岩体北侧的槐树湾斜长花岗岩体,侵入于滑石菱镁岩中,地表呈近北东向展布,长度约 1000m,宽度约 300m,岩体周边未见明显的蚀变现象。

2.2 矿化蚀变带特征

该矿床已圈定 Scβ I、Scβ II、Scβ III 共 3 条矿化蚀变带,它们产于郭家沟组中岩段上亚段细碧岩中,矿化蚀变带即为片理化细碧岩带,其产状与地层基本一致,倾向 325°~355°,倾角 45°~75°,3 条矿化蚀变带在空间上呈平行展布,长度 540~1320m,宽度 8~154m。带内主要蚀变为绿泥石化、硅化、磁黄铁矿化、黄铁矿化。带内岩石发生强韧性变形及动力变质,主要表现为强烈的片理化,呈鳞片-粒状变晶结构、糜棱结构、片状构造、拔丝状构造、条带状构造。除原岩中的钠长石之外,大多数为蚀变矿物,包括绿泥石、绿帘石、透闪石、石英、磁黄铁矿、黄铁矿等。主要矿物全部破碎而且形成韧性变形结构,其中钠长石全部破碎并定向排列;绿泥石全部呈拔丝状;绿帘石多成它形粒状分散交代绿泥石;透闪石和绿泥石共定向排列构成片理;石英呈破碎重结晶团块;磁黄铁矿第一种为团块状集合体,粗粒它形结构,团块可达 2~10mm,第二种为集合体成条带状分布,为重结晶作用形成,第三种为破碎粒状结构,

具有重结晶现象;黄铁矿呈胶体状态分布,脱胶后形成羽状和马尾状沿微细裂隙分布。

2.3 矿体特征

矿化蚀变带内共圈定铜矿体 13 条,各矿体在矿化蚀变带内平行展布,产状与矿化蚀变带基本相同,除 I-4 号矿体在地表有一处露头外,其它均为盲矿体。矿体多呈似层状、透镜状,规模不一,长度、厚度变化较大,长 44~638m,厚度 0.32~17.52m,各矿体矿石类型、围岩蚀变等特征基本相同。I-4 号矿体为主矿体,分布于 Scβ I 蚀变带内 W35-W22 线之间,呈似层状,具有膨缩及分枝复合现象,在走向及倾斜方向具有明显的波状起伏特点,产状与蚀变带基本一致,倾向 320°~350°,倾角 45°~75°(图 3),仅于 W24 线东侧 TC24 探槽中出露地表,其它地段均埋藏于地下,控制长 638m,厚 0.78~17.52m,平均厚 5.11m,厚度变化系数 89.88%,铜单样品位波动于 $0.05 \times 10^{-2} \sim 12.82 \times 10^{-2}$,单工程平均品位 $0.48 \times 10^{-2} \sim 2.45 \times 10^{-2}$,矿体平均品位 0.96×10^{-2} ,品位变化系数 147.67%。矿体倾向 300°~345°,倾角 36°~65°。总体上厚大部位出现在蚀变带倾角变缓处,如在 ZK3402 孔、ZK3005 孔、PD996-CM26S 穿脉膨大处倾角较缓,矿体厚度分别达 12.79m、17.52m、11.91m。

2.4 矿石质量特征

2.4.1 矿石的矿物组成

(1) 矿石的矿物成分。矿石矿物有:黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、极少量闪锌矿、褐铁矿、黝铜矿、斑铜矿。磁黄铁矿有两种分布形式,一为团块状集合体,团块可达 2~10 mm,磁黄铁矿多为它形粗粒结构,其中包含大量的黄铜矿颗粒(图版 I(a)、图版 I(b));第二种为条带状(图版 I(c)),以它形粗粒为主,在矿石中集合体成条带状分布,其条带边沿可见细粒黄铁矿颗粒(图版 I(c)),为重结晶作用形成。黄铜矿一部分呈磁黄铁矿的包裹体形式存在(图版 I(a)、图版 I(b)、图版 I(c)),粒径小于 0.048mm;一部分呈独立的集合体(图版 I(d)),粒径大于 0.1mm,多以交代形式出现(图版 I(d)),多见交代黄铁矿。黄铁矿交代磁黄铁矿,一般粒度比较粗,所见粒度多大于 0.1mm。

脉石矿物有:石英、钠长石、绿泥石、绿帘石、透闪石、阳起石、方解石、重晶石、黑云母,其次有钛铁氧化物。脉石矿物组合比较复杂,主要矿物全部破碎而且形成韧性变形结构,其中绿泥石全部成拔丝状;石英成破碎重结晶团块;钠长石全部破碎并定向

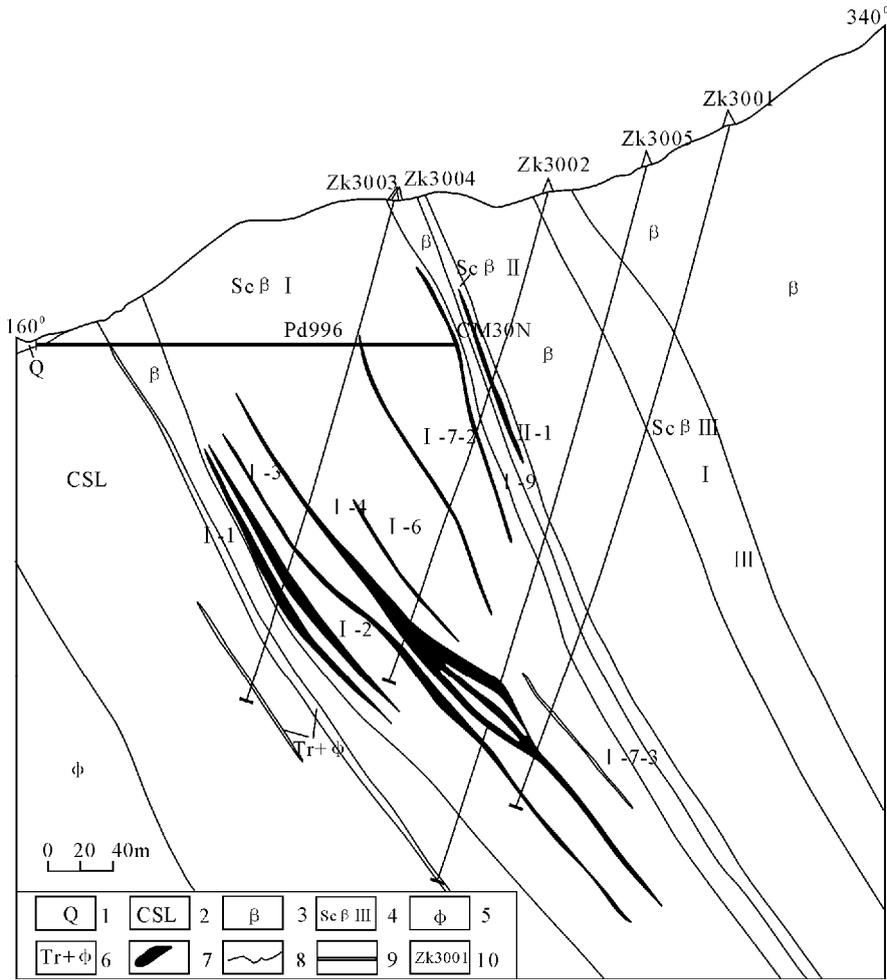


图 3 徐家沟铜矿床 30 勘探线剖面图

Fig. 3 Profile sketch of No. 30 exploration line in Xujiagou copper deposit

1—第四系;2—炭质板岩;3—细碧岩;4—片理化细碧岩带及编号;5—蛇纹岩;6—滑石菱镁岩夹蛇纹岩;
7—铜矿体及编号;8—地质界线;9—坑道及编号;10—钻孔及编号

1—Quaternary; 2—carbonaceous slate; 3—spilite; 4—schistose structure spilite and its number; 5—serpentine; 6—talc magnesite rock mingled with serpentine; 7—copper ore body and its number; 8—geological borderline; 9—tunnel and its number; 10—drill hole and its number

排列;绿帘石多成它形粒状分散交代绿泥石等。各矿物在矿石中的含量情况见表 1。

2.4.2 矿石的化学成份

矿石中主要有用元素为铜,各矿体中主要有用组分铜单样品位波动于 $0.017 \times 10^{-2} \sim 12.82 \times 10^{-2}$,单工程品位波动于 $0.32 \times 10^{-2} \sim 5.78 \times 10^{-2}$,平均品位 1.04×10^{-2} ;伴生有益组分为金、银、钴、硫,金品位波动于 $0.10 \times 10^{-2} \sim 0.52 \times 10^{-6}$,平均品位 0.11×10^{-6} ;银品位波动于 $0.55 \times 10^{-2} \sim 16.5 \times 10^{-6}$,平均品位 7.64×10^{-6} ;钴品位波动于 $0.0026 \times 10^{-2} \sim 0.054 \times 10^{-2}$,平均品位 0.015×10^{-2} ;硫品位波动于 $0.24 \times 10^{-2} \sim 17.67 \times 10^{-2}$,平均品位 3.63×10^{-2} 。矿石中还含有铅、锌、镍、铬、钼、锰、钡、锶等元素,均达不到伴生组分最低工业要求。

表 1 徐家沟铜矿床矿石矿物组成及含量
Table 1 Mineral composition and content of ore in Xujiagou copper deposit

| 矿物名称 | 含量(%) | 矿物名称 | 含量(%) |
|------|-------|------|-----------------|
| 绿泥石 | 10~25 | 磁黄铁矿 | 5~10(最高可达 30) |
| 石英 | 10~40 | 黄铜矿 | 3~8(最高可达 25~30) |
| 钠长石 | 5~12 | 黄铁矿 | 2~5 |
| 方解石 | 1~10 | 黝铜矿 | <0.5 |
| 阳起石 | 2~5 | 闪锌矿 | 少量 |
| 重晶石 | 1~2 | 褐铁矿 | 少量 |
| 绿帘石 | 2~3 | 铜兰 | 少量 |
| 透闪石 | 1~5 | 孔雀石 | 少量 |
| 金红石 | <0.5 | 斑铜矿 | 微量 |
| 黑云母 | 少量 | 磷灰石 | 微量 |
| 绢云母 | 微量 | | |

注:西北有色地质研究院鉴定分析,2006。

矿石中的主要造渣组分为硅、铝、钙、镁、铁,其氧化物含量为 SiO_2 波动于 20.2%~53.4%,平均 40.35%; Al_2O_3 波动于 7.44%~11.63%,平均 8.74%; CaO 波动于 1.2%~14.3%,平均 4.07%;

MgO 波动于 3.92%~6.59%,平均 4.88%; Fe_2O_3 波动于 20.17%~31.93%,平均 23.91%。其次造渣组分还有锰、钛、磷、钾、钠等元素。矿石化学成分见表 2。

表 2 徐家沟铜矿床矿石化学成分表

Table 2 The chemical component of ore in Xujiagou copper deposit

| 样号 | K1 | K4 | K7 | K8 | K22 | K23 | K24 | K25 | K26 | K27 | 平均 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Au * | 0.89 | 0.32 | 0.10 | 0.37 | 0.10 | 0.10 | 0.16 | 0.10 | 0.10 | 0.29 | 0.25 |
| Ag * | 13.1 | 14.6 | 10.2 | 22.5 | 7.44 | 5.69 | 19.8 | 7.71 | 5.41 | 9.75 | 11.62 |
| Cu | 2.51 | 6.35 | 1.33 | 6.7 | 1.14 | 1.05 | 8.75 | 1.78 | 0.56 | 1.90 | 3.21 |
| Co | 0.028 | 0.032 | 0.057 | 0.032 | 0.02 | 0.021 | 0.043 | 0.022 | 0.016 | 0.026 | 0.030 |
| S | 5.06 | 6.92 | 5.09 | 7.62 | 3.19 | 2.57 | 11.03 | 2.6 | 2.69 | 3.74 | 5.05 |
| SiO_2 | 20.25 | 27.13 | 48.88 | 44.38 | 46.35 | 53.42 | 28.22 | 40.94 | 45.75 | 48.17 | 40.35 |
| Al_2O_3 | 7.44 | 9.08 | 8.26 | 7.85 | 8.92 | 9.18 | 7.55 | 11.63 | 9.79 | 7.7 | 8.74 |
| CaO | 14.3 | 7.57 | 1.2 | 3.49 | 2.35 | 1.64 | 2.35 | 1.75 | 2.56 | 3.49 | 4.07 |
| MgO | 4.08 | 4.55 | 4.43 | 3.92 | 6.59 | 4.16 | 4.55 | 5.1 | 6.51 | 4.86 | 4.88 |
| Fe_2O_3 | 20.63 | 24.29 | 25.66 | 20.32 | 24.13 | 22 | 31.93 | 26.74 | 23.22 | 20.17 | 23.91 |
| MnO | 0.41 | 0.25 | 0.18 | 0.32 | 0.22 | 0.25 | 0.12 | 0.21 | 0.22 | 0.29 | 0.25 |
| TiO_2 | 0.29 | 0.12 | 0.22 | 0.22 | 0.29 | 0.37 | 0.24 | 0.66 | 0.38 | 0.15 | 0.29 |
| P_2O_5 | 0.099 | 0.11 | 0.076 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.11 | 0.16 | 0.15 | 0.038 | 0.118 |
| K_2O | 0.041 | 0.048 | 0.18 | 0.05 | 0.042 | 0.083 | 0.034 | 0.045 | 0.039 | 0.1 | 0.066 |
| Na_2O | 0.06 | 0.44 | 1.38 | 0.34 | 0.034 | 0.32 | 0.062 | 0.039 | 0.22 | 5.76 | 0.8655 |

注:带*号的单位为 $\times 10^{-6}$,其余为 $\times 10^{-2}$;测试单位:西北有色地质勘查局七一一总队岩矿测试中心,2008。

2.4.3 矿石的结构、构造

(1) 矿石结构。①它形粒状结构:磁黄铁矿、黄铜矿具有的结构特征,矿无呈它形粒状出现(图版 I (a)、图版 I (b))。②胶状结构:黄铁矿呈胶体状态分布(图版 I (e)、图版 I (d))。③包含结构:为部分黄铜矿的特有结构(图版 I (a)、图版 I (b))。④交代结构:闪锌矿交代黄铁矿(图版 I (a))。⑤碎粒结构:黄铁矿、磁黄铁矿呈碎粒状出现,碎粒之间充填黄铜矿(图版 I (d))。

(2) 矿石构造。①脉状构造:磁黄铁矿一部分成脉状分布,脉体宽度一般比较大,多在 1mm(图 17)以上,脉体中的磁黄铁矿多以粗粒结构为主。②条带状构造:矿石矿物被破碎拉长形成条带,充填于脉石矿物的变形片理之中,形成条带。③细脉状构造:黄铁矿所具有的特殊构造(24),微细粒黄铁矿沿微细裂隙分布。

2.4.4 矿石类型

(1) 矿石的自然类型。根据矿石矿物含量及共生组合关系矿石类型可分为两种,即黄铁矿化-磁黄铁矿化-片理化细碧岩型铜矿石和褐铁矿化-黄铁矿化-磁黄铁矿化-片理化细碧岩型铜矿石,以前者为主,后者为前者氧化产物,仅于地表 I-4 号矿体表面见有少量分布。

(2) 矿石的工业类型。依据主要有用元素铜的氧化率,矿石的主要工业类型分为原生硫化铜矿石(铜氧化率 $<10\%$)和混合铜矿石(铜氧化率 $10\% \sim 30\%$)。

3 控矿因素

3.1 地层岩性因素

矿区出露中上元古界郭家沟组(Pt_{2-3g}),其中的基性火山角砾熔岩、细碧岩,铜含量为 $121 \times 10^{-6} \sim 144 \times 10^{-6}$,是克拉克值的 3~4 倍;闪长岩中铜丰度为 80×10^{-6} ,是克拉克值的 2.22 倍;片理化细碧岩铜含量为 205×10^{-6} (见表 3)。从表 3 可以看出铜、镍、钴含量从细碧岩到片理化细碧岩变高,说明在构造作用过程中岩石成矿元素发生了明显的迁移、富集。

据测定(王相等,1996),铜厂地区细碧岩中角闪石变质前含铜为 1.32%,蚀变为绿泥石后含铜为 0.96%;闪长岩中角闪石变质前含铜为 1.97%,蚀变为绿泥石后铜含量为 0.87%,由此推断细碧岩、闪长岩在后期成矿过程中提供了大量的铜。

以上特点表明,前期郭家沟组形成时火山喷发阶段的基性熔岩及后期侵入的闪长岩本身含有大量的铜等成矿物质,为矿源岩。矿体均赋存于细碧岩中,显示了成矿受地层岩性控制的特点。

表 3 徐家沟铜矿矿区各类岩石微量元素含量表

Table 3 Microelement content of all kinds of rock in Xujiagou copper ore field

| 岩石名称 | 厚层白云岩 | 滑镁岩 | 蛇纹岩 | 炭质板岩 | 基性火山角砾熔岩 | 细碧岩 | 片理化细碧岩 | 辉长岩 | 闪长岩 | 克拉克值 |
|------|-------|------|-----|------|----------|------|--------|------|------|------|
| 样品数 | 2 | 7 | 8 | 7 | 6 | 16 | 6 | 8 | 73 | |
| Cu | 18 | 31 | 57 | 35 | 121 | 144 | 205 | 62 | 80 | 36 |
| Pb | | <1 | 2 | 3 | 6 | 8 | 14 | 3 | 8 | 1.6 |
| Zn | | 81 | 445 | 66 | 167 | 150 | 198 | 116 | 46 | 15 |
| Ni | 13 | 59 | 44 | 124 | 53 | 53 | 85 | 63 | 19 | 32 |
| Co | 3 | 34 | 35 | 12 | 25 | 24 | 34 | 63 | 17 | 15 |
| Cr | 6 | 19 | 19 | 535 | 68 | 85 | 78 | 12 | 72 | 80 |
| V | 140 | 201 | 231 | 1035 | 489 | 500 | 546 | 246 | 158 | 60 |
| Mn | 2000 | 1471 | 988 | 1029 | 1360 | 1250 | 1432 | 1281 | 831 | 320 |
| Mo | 5 | 5 | 5 | 8 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 0.6 |
| Sn | | 2 | | 4 | 3 | 3 | 3 | | 6 | 7 |
| Ce | | | 6 | | 3 | 4 | 3 | | | 2.5 |
| Ga | 3 | 8 | | 4 | 6 | 6 | 8 | | 13 | 4 |
| Li | | | | 6 | 7 | 7 | 50 | | 2 | 190 |
| Be | | | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | | 5 | 12 |
| Ti | 103 | 2450 | 569 | 2156 | 568 | 486 | 6500 | | 5188 | 2500 |

注:单位 $\times 10^{-6}$;西北有色地质勘查局七一一总队岩矿测试中心,2008。

3.2 构造因素

矿床内圈定出了 3 条矿化蚀变带(片理化细碧岩带),其中圈定 13 条呈平行展布的铜矿体,带内岩石普遍发生绿泥石化、硅化、磁黄铁矿化、黄铁矿化,其结构、构造显示了明显的强韧性变形、动力变质及热液活动特点,铜矿化与上述蚀变关系密切。另外,矿石的结构、构造也表明了构造成矿特点。

经稀土样品矿石、片理化细碧岩、细碧岩各 4 件分析(表 4),矿石稀土总量变化在 $8.79 \times 10^{-6} \sim 15.85 \times 10^{-6}$,平均 12.44×10^{-6} ,片理化细碧岩稀土总量变化在 $17.04 \times 10^{-6} \sim 51.54 \times 10^{-6}$,平均 36.08×10^{-6} ,细碧岩稀土总量变化在 $14.22 \times 10^{-6} \sim 46.50 \times 10^{-6}$,平均 35.84×10^{-6} ,矿石、片理化细碧岩、细碧岩稀土总量都较低,相比较而言,矿石中稀土总量明显低于片理化细碧岩和细碧岩,说明在矿化作用过程中稀土元素总体迁移、成矿流体的活动比较强烈的;轻、重稀土含量及其比值($\Sigma Ce/\Sigma Y$) 在矿石、片理化细碧岩和细碧岩中总体相当,反映成矿物质主要来源于细碧岩;矿石、片理化细碧岩、细碧岩三者 Sm/Nd 比值变化不大,平均均小于 0.3,为轻稀土富集型,说明了矿石、片理化细碧岩就地改造的特点;矿石、片理化细碧岩、细碧岩稀土配分模式(图 4)多为向右缓倾斜,个别片理化细碧岩和矿石稀土配分模式显示轻稀土富集明显,模式曲线相对陡倾,反映了成矿物质的多元性;矿石、片理化细碧岩、细碧岩 δCe 小于 1,均为 Ce 负异常,矿石 δEu

变化在 0.55~0.87,平均 0.73,片理化细碧岩 δEu 变化在 0.46~1.09,平均 0.85,细碧岩 δEu 变化在 1.07~1.49,平均 1.34,总体上显示从细碧岩-片理化细碧岩-矿石钕从正异常逐渐变化为负异常,表明在成矿作用过程中有深源流体参与成矿。

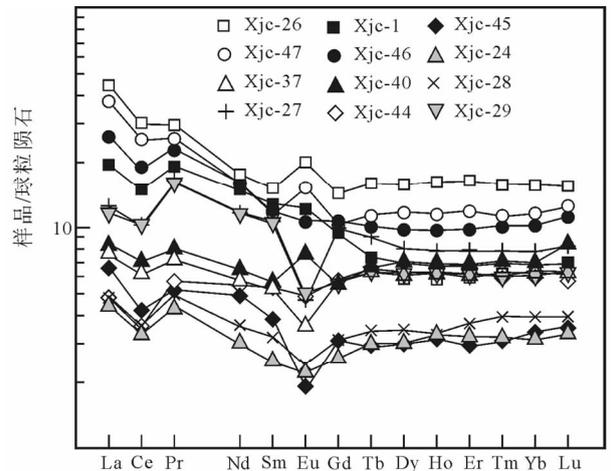


图 4 徐家沟铜矿床矿石和围岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of ore and wall rock in Xujiagou copper deposit

硫同位素测试结果表明(表 5),黄铜矿中硫同位素 $\delta^{34}S$ 的变化范围是 3.9‰~5.1‰,平均 4.3‰,磁黄铁矿中硫同位素 $\delta^{34}S$ 的变化范围是 4.1‰~6.2‰,平均 5.3‰,均较富重硫, ^{34}S (磁黄矿) $>^{34}S$ (黄铜矿)。根据野外地质调研及室内岩矿鉴定,未

表4 徐家沟铜矿床稀土元素含量特征表

Table 4 The content property of Lanthanon in Xujiagou copper deposit

| 样品 样号 | 矿石 Xjg-26、47、37、27 | | | | 片理化细碧岩 Xjg-1、46、40、44 | | | | 细碧岩 Xjg-45、24、28、29 | | | |
|----------|--------------------|------|-------|------|-----------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|
| | 26 | 47 | 37 | 27 | 1 | 46 | 40 | 44 | 45 | 24 | 28 | 29 |
| La | 2.90 | 1.56 | 1.92 | 1.14 | 10.46 | 2.99 | 2.02 | 8.61 | 4.58 | 6.09 | 1.10 | 9.04 |
| Ce | 4.35 | 2.51 | 3.6 | 2.12 | 18.39 | 6.23 | 3.91 | 15.37 | 9.04 | 11.41 | 2.3 | 15.07 |
| Pr | 0.77 | 0.5 | 0.70 | 0.42 | 2.78 | 1.57 | 0.76 | 2.42 | 1.78 | 2.17 | 0.55 | 2.47 |
| Nd | 2.95 | 1.97 | 3.03 | 1.71 | 10.9 | 5.91 | 3.54 | 9.81 | 8.82 | 8.82 | 2.67 | 9.7 |
| Sm | 0.59 | 0.49 | 0.82 | 0.39 | 1.93 | 1.65 | 0.88 | 1.81 | 2.31 | 1.87 | 0.84 | 1.71 |
| Eu | 0.11 | 0.14 | 0.21 | 0.13 | 0.68 | 0.28 | 0.27 | 0.62 | 1.15 | 0.69 | 0.45 | 0.88 |
| Gd | 0.65 | 0.63 | 1.06 | 0.54 | 1.92 | 2.12 | 1.16 | 1.98 | 2.90 | 2.12 | 1.11 | 1.95 |
| Tb | 0.11 | 0.13 | 0.24 | 0.12 | 0.27 | 0.42 | 0.24 | 0.31 | 0.59 | 0.38 | 0.25 | 0.34 |
| Dy | 0.77 | 0.89 | 1.56 | 0.8 | 1.51 | 2.94 | 1.55 | 2.03 | 4.03 | 2.46 | 1.79 | 1.95 |
| Ho | 0.18 | 0.19 | 0.34 | 0.18 | 0.33 | 0.64 | 0.34 | 0.44 | 0.91 | 0.55 | 0.40 | 0.42 |
| Er | 0.48 | 0.62 | 1.04 | 0.53 | 0.97 | 1.96 | 1.02 | 1.34 | 2.67 | 1.62 | 1.19 | 1.30 |
| Tm | 0.08 | 0.1 | 0.16 | 0.08 | 0.16 | 0.28 | 0.15 | 0.20 | 0.4 | 0.26 | 0.18 | 0.19 |
| Yb | 0.57 | 0.67 | 1.01 | 0.54 | 1.06 | 1.96 | 1.05 | 1.3 | 2.62 | 1.72 | 1.21 | 1.27 |
| Lu | 0.09 | 0.1 | 0.16 | 0.09 | 0.18 | 0.32 | 0.15 | 0.22 | 0.39 | 0.28 | 0.18 | 0.21 |
| ΣREE | 14.6 | 10.5 | 15.85 | 8.79 | 51.54 | 29.27 | 17.04 | 46.46 | 42.19 | 40.44 | 14.22 | 46.5 |
| ΣLREE | 11.67 | 7.17 | 10.28 | 5.91 | 45.14 | 18.63 | 11.38 | 38.64 | 27.68 | 31.05 | 7.91 | 38.87 |
| ΣHREE | 2.93 | 3.33 | 5.57 | 2.88 | 6.4 | 10.64 | 5.66 | 7.82 | 14.51 | 9.39 | 6.31 | 7.63 |
| ΣCe/ΣY | 3.98 | 2.15 | 1.85 | 2.05 | 7.05 | 1.75 | 2.01 | 4.94 | 1.91 | 3.31 | 1.25 | 5.09 |
| Sm/Nd | 0.20 | 0.25 | 0.27 | 0.23 | 0.18 | 0.28 | 0.25 | 0.18 | 0.26 | 0.21 | 0.31 | 0.18 |
| δCe | 0.68 | 0.67 | 0.73 | 0.72 | 0.80 | 0.67 | 0.74 | 0.79 | 0.74 | 0.73 | 0.69 | 0.75 |
| δEu | 0.55 | 0.78 | 0.70 | 0.87 | 1.09 | 0.46 | 0.83 | 1.01 | 1.37 | 1.07 | 1.44 | 1.49 |

注:样品由有色金属西北矿产地质测试中心2006年采用ICP-MS分析完成,所用等离子体质谱仪型号为ELAN 6100DRC;单位 $\times 10^{-6}$ 。

表5 徐家沟铜矿床硫同位素分析结果

Table 5 The analyzed result of sulfur isotope in Xujiagou copper deposit

| 序号 | 样号 | 取样位置及样品性质 | 测试矿物 | $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ |
|----|----------|------------------------------|------|---------------------------------|
| 1 | Xjg-26 | ZK2802, 矿石 | 黄铜矿 | 3.9 |
| 2 | Xjg-47 | PD1110-CM26S, 矿石 | 黄铜矿 | 4.0 |
| 3 | XK557 | ZK3002, 矿石 | 黄铜矿 | 4.2 |
| 4 | Xjg-41-1 | PD1075-CM23BN, 矿石(黄铜矿石英脉) | 黄铜矿 | 5.1 |
| | 平均(4) | | | 4.3 |
| 5 | Xjg-8 | ZK2802, 矿石 | 磁黄铁矿 | 4.1 |
| 6 | Xjg-26 | ZK2802, 矿石 | 磁黄铁矿 | 5.3 |
| 7 | Xjg-47 | PD1110-CM26S, 矿石 | 磁黄铁矿 | 5.6 |
| 8 | ZK3002-4 | ZK3002, 矿石 | 磁黄铁矿 | 6.2 |
| | 平均(4) | | | 5.3 |

注:国家地质实验测试中心分析,2007。

看到所选磁黄铁矿与黄铜矿有明显的形成期次差异,认为黄铜矿和磁黄铁矿中硫是同时形成,它们硫同位素的差异是由于硫同位素的平衡分馏引起。由黄铜矿与磁黄铁矿硫同位素组成特点看,硫同位素组成与变质硫、生物硫、海水硫等差异很大,与岩浆硫比较接近,但较岩浆硫略富重硫,与铜厂铜矿床的黄铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值 10.53‰(王相等,1996)比较,徐家沟铜矿床黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值明显偏低,说明徐家沟

铜矿床中的硫与海相硫酸盐关系不大,而与后期岩浆、构造改造作用关系密切。

总之,铜矿体赋存于细碧岩中的构造片理化带内,矿石结构、构造特征也反映了构造成矿特点,构造片理化带为矿质富集提供了通道和空间,铜元素表现了明显的沿构造片理化带富集的特点。稀土元素富集特征表明片理化带内成矿流体活动强烈,成矿物质主要来自围岩(细碧岩),并具有多来源特征,成矿过程中有部分深源流体参与成矿。硫同位素分析结果表明黄铜矿和磁黄铁矿中硫是同时形成,硫同位素组成与岩浆硫比较接近,但较岩浆硫略富重硫,与后期岩浆、构造改造作用有关。以上特点表明,细碧岩中构造片理化带是重要的控矿因素。

3.3 侵入岩因素

矿床位于铜厂矿田西北部,距离铜厂闪长岩体约1千米,岩体侵入是矿区内一次重要的构造热事件,随着岩体的侵入,其携带的深源流体可能参与了成矿,矿石、片理化细碧岩、细碧岩的稀土元素分布特征中 δEu 值变化可能反映了这一点。根据硫同位素分析结果,岩体侵入可能为成矿提供了主要硫源。总之,铜厂闪长岩体侵入为后期成矿可能提供了部分热源、动力和部分成矿物质,是又一控矿因素。

4 结论

综上所述,徐家沟铜矿床矿体产于中上元古界郭家沟组(Pt_{2-3g})细碧岩中的近东西向片理化带内,已圈定三条近平行展布的片理化细碧岩带(矿化蚀变带)和 13 条矿体,矿石中主要有用元素为铜,伴生有益组分为金、银、钴、硫,矿石主要自然类型为黄铁矿化-磁黄铁矿化-片理化细碧岩型,矿石呈它形粒状结构、胶状结构、包含结构、交代结构、碎粒结构和脉状构造、条带状构造、细脉状构造。矿床形成受地层岩性、构造和侵入岩多重因素控制,中、上元古界郭家沟组细碧岩为铜的主要矿源岩,矿体赋存于细碧岩中的近东西向构造片理化带中并受其控制。元素和同位素地球化学研究表明,构造片理化带为矿质富集提供了运移通道和富集空间,铜厂闪长岩体为成矿提供了动力、热源和主要硫源,认为属于火山沉积-构造岩浆改造型铜矿床。

从以上控矿因素分析,矿区铜厂闪长岩体西侧、南侧郭家沟组细碧岩呈半环状分布,从矿源岩、构造、岩浆岩方面来看,成矿条件优越,是一个具备大型铜矿潜力的找矿远景区。

注 释

① 王瑞廷. 2005. 秦岭造山带陕西段主要矿集区典型金属矿床成矿

模式和找矿预测研究(博士后出站报告). 合作导师:毛景文. 中国地质大学(北京),1~173.

② 王东生. 1992. 陕西省略阳县铜厂铜矿床地质特征及矿床成因分析. 西北金属矿产地质, (2):8~20.

参 考 文 献

- 丁振举,姚书振. 1998a. 陕西略阳铜厂铜矿床成矿机制分析. 矿产与地质,12(3):167~171.
- 丁振举,姚书振. 1998b. 陕西略阳铜厂铜矿成矿时代及地质意义. 西安工程学院学报,20(3):24~27.
- 韩润生,马德云,刘丛强,马更生,刘晓峰,王学焜. 2003. 陕西铜厂矿田构造成矿动力学. 昆明:云南科技出版社,1~90.
- 西安地质矿产研究所. 2006. 西北地区矿产资源找矿潜力. 北京:地质出版社,334~344.
- 齐文,侯满堂. 2005. 陕西铜矿类型及找矿方向. 西北地质,38(3):29~40.
- 宋小文,侯满堂,陈如意. 2004. 陕西省成矿区带的划分. 西北地质,37(3):29~42.
- 王平安,陈毓川,裴荣富,吴滢国,等. 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,12~36.
- 王瑞廷,汪军谊,李福让,王东亮,张梦平. 2004. 勉-略-宁多金属矿集区铜厂-徐家坝铜矿带地质地球化学特征. 矿物岩石地球化学通报,23(增刊):69~71.
- 王相,唐荣扬,李实,李永祥,杨铭君,王东生,等. 1996. 秦岭造山与金属成矿. 北京:冶金工业出版社,273~287.
- 张国伟,张宗清,董云鹏. 1995. 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.
- 周圣华. 2008. 陕西铜厂铜金多金属矿床地质特征及成矿流体地球化学. 中国地质,35(2):298~304.

Geological Characteristics and Controlling Factors of the Xujiagou Copper Deposit in Lueyang County, Shaanxi Province, China

LI Furang¹⁾, WANG Ruiting²⁾, GAO Xiaohong¹⁾, CHEN Lixiang¹⁾

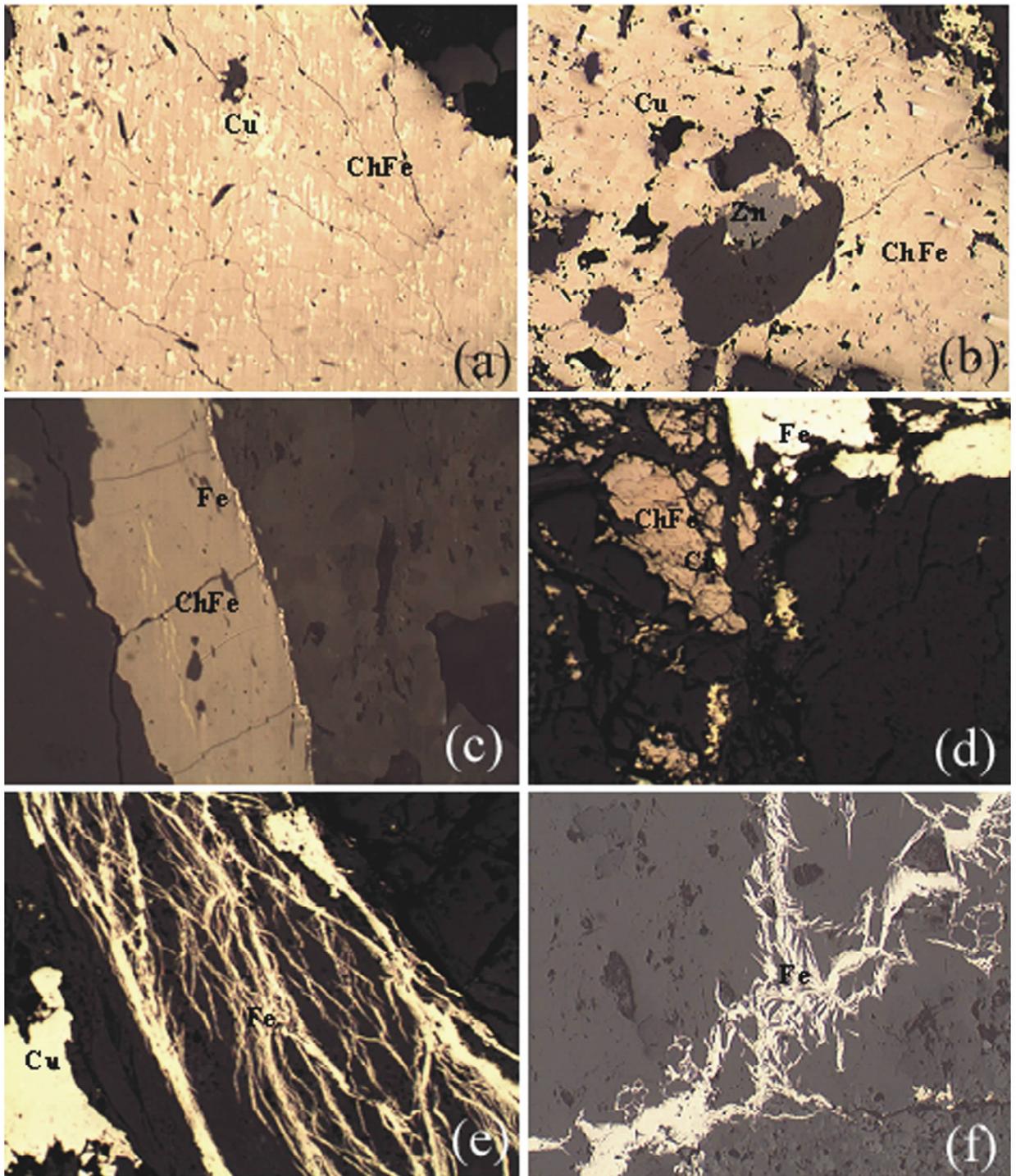
1) 711 Geologic Team of Northwest Nonferrous Metal Geological Bureau, Mianxian, Shaan'xi, 724212;

2) Northwest mining and Geological exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an, Shaan'xi, 710054

Abstract

Xujiagou copper deposit lies in the northwest of Tongchang ore field in the central Mianxian-Lueyang-Yangpingguan copper polymetallic mineralization-intensive area. The ore body is hosted within the schistose spilite zone of middle-upper Proterozoic, and 13 orebodies have been delineated, but most of orebodies are blind. The mineralization consists mainly of pyritization-pyrrhotitization-schistosited spilite, indicating a volcanic sedimentary-tectonics and magmatic reformation type copper deposit. The spilite of Guojiagou Formation is the source of copper mineralization. The nearly EW-striking schistose structure zone in spilite provides channels and space for enrichment of ore-forming material. The Tongchang diorite provides mineralization with dynamics and thermal source, especially sulfur. The formation of the Xujiagou copper deposit is controlled jointly by above-mentioned stratum, structure and intrusive rock.

Key words: Tongchang ore field; Xujiagou copper deposit; geological characteristics; controlling factors



Cu—黄铜矿; Fe—黄铁矿; ChFe—磁黄铁矿; Zn—闪锌矿; (a)—黄铜矿包含在磁黄铁矿中形成包含粒状结构; (b)—闪锌矿交代磁黄铁矿自身又被黄铜矿交代; (c)—磁黄铁矿脉边部分布细粒黄铁矿; (d)—它形粒状黄铜矿呈散布; (e)—沿裂隙充填的黄铁矿呈马尾状结构; (f)—沿裂隙充填的黄铁矿具羽状结构

Cu—Chalcopyrite; Fe—pyrite; ChFe—pyrrhotite; Zn—sphalerite; (a)—containing granular structure is formed that chalcopyrite is contained by pyrrhotite; (b)—sphalerite replace pyrrhotite and itself is replaced by chalcopyrite; (c)—fine grained pyrite is distributing in side of pyrrhotite vein; (d)—xenomorphic granular chalcopyrite is disseminating in ore; (e)—pyrite is filling along fissure that show horsetail structure; (f)—pyrite is filling along fissure that show feather structure