# 陕西铜厂铜金多金属矿床地质特征及成矿流体地球化学

周圣华

(有色金属矿产地质调查中心,北京 100012)

**提要**:铜厂铜-金多金属矿床是勉略阳成矿区中铜厂矿田的典型代表。在研究矿床地质特征的基础上,其成矿过程可划分为气成热液期和改造热液期,改造热液期可划分为黄铁矿-毒砂-方解石-石英阶段、多金属硫化物阶段及黄铁矿-碳酸盐-石英阶段。特别是产于闪长岩体中北东向的片理化带的 Cu-Au-(Co) 石英-碳酸盐矿体,金属矿化出现水平分带现象:从东到西大致依次出现 Cu、Co-Cu(Au)、Cu、Au-Au 矿化和构造地球化学异常;矿物发育 4 种类型的包裹体:液体包裹体、纯液体包裹体、气体包裹体、含液相 $CO_2$ 多相包裹体,以前两者包裹体最为发育;中低温、中压、中等氧逸度和近中性的成矿流体条件有利于热液改造型矿床的形成;成矿流体来源于改造水和岩浆水及变质水,从改造热液期的早阶段到晚阶段,改造水越来越占优势。该矿床为中低温改造型热液矿床。

**关　键　词**:矿床地质特征;流体地球化学;铜厂铜金多金属矿床;铜厂矿田;陕西

**中图分类号**:P618.41;P618.51　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1000-3657(2008)02-0298-07

铜厂矿田位于陕西勉(县)—略(阳)—阳(平关)"金三角"地区中部,处于南秦岭纬向构造带和龙门山华夏系构造带及川—滇经向构造带的接合部位。多期构造运动明显而强烈,不同类型火山岩极为发育,岩浆侵入活动频繁,多期构造形迹复杂多变,多源叠加,矿化类型繁多。矿田内主要分布铜厂、陈家坝、秦家贬、红土石及阴山沟等铜金多金属矿床(点)(图 1)。前人曾进行了铜厂矿田矿床(化)类型[1]、控矿断裂带显微构造[2]、构造地球化学及其定位预测[3-4]、矿田构造成矿动力学[5]及铜厂铜矿床地球化学[6]研究,故笔者着重研究该矿床的流体地球化学,为该类型矿床地质找矿研究奠定基础。

## 1　矿床地质特征

矿床位于中部火山岩带东端铜厂火山岩区。出露地层为中元古界碧口群郭家沟组火山-沉积岩建造,矿体围岩除闪长岩外,还有郭家沟组上部的细碧岩、白云岩夹炭硅质板岩,以基性细碧质火山岩系为主。区内构造发育,主要控矿构造为铜厂背斜和断裂,以东西向走滑断裂为主,规模较大,以糜棱岩带、挤压褶皱带、层间强揉皱的形式出现,具多期活动特征,多属韧性剪切滑动或层间活动性质。岩浆侵入以闪长岩为主体,矿床(体)分布于岩体周边的构造破碎带和与中酸性岩的接触带,还有少量超基性、基性岩侵入体(图 1)。

### 1.1　矿体形态及产状

(1)矽卡岩型 Cu-Fe 矿床:矿体产于闪长岩体内及其围岩的接触带(主要含矿围岩有斜长绿帘石岩、透闪石岩、透辉石等矽卡岩),亦产于炭质板岩和白云岩的过渡带的磁铁矿体。矿体主要呈脉状、似层状和透镜状。金属矿物有黄铜矿、黄铁矿和磁铁矿等,脉石矿物为绿帘石、透闪石、透辉石和碳酸盐矿物。

(2)热液型 Cu-Au-Co 多金属矿床:矿体产于闪长岩体内外接触带的郭家沟组地层,呈平行脉状

**收稿日期**:2007-12-24;**改回日期**:2008-02-13

**基金项目**:云南省自然科学基金项目(99D0003G)及中日合作项目资助。

**作者简介**:周圣华,男,1963 年生,高级工程师,储量评估师,主要从事金属矿产普查与勘探、矿床地质和地球化学研究;E-mail:joe630415@163.com

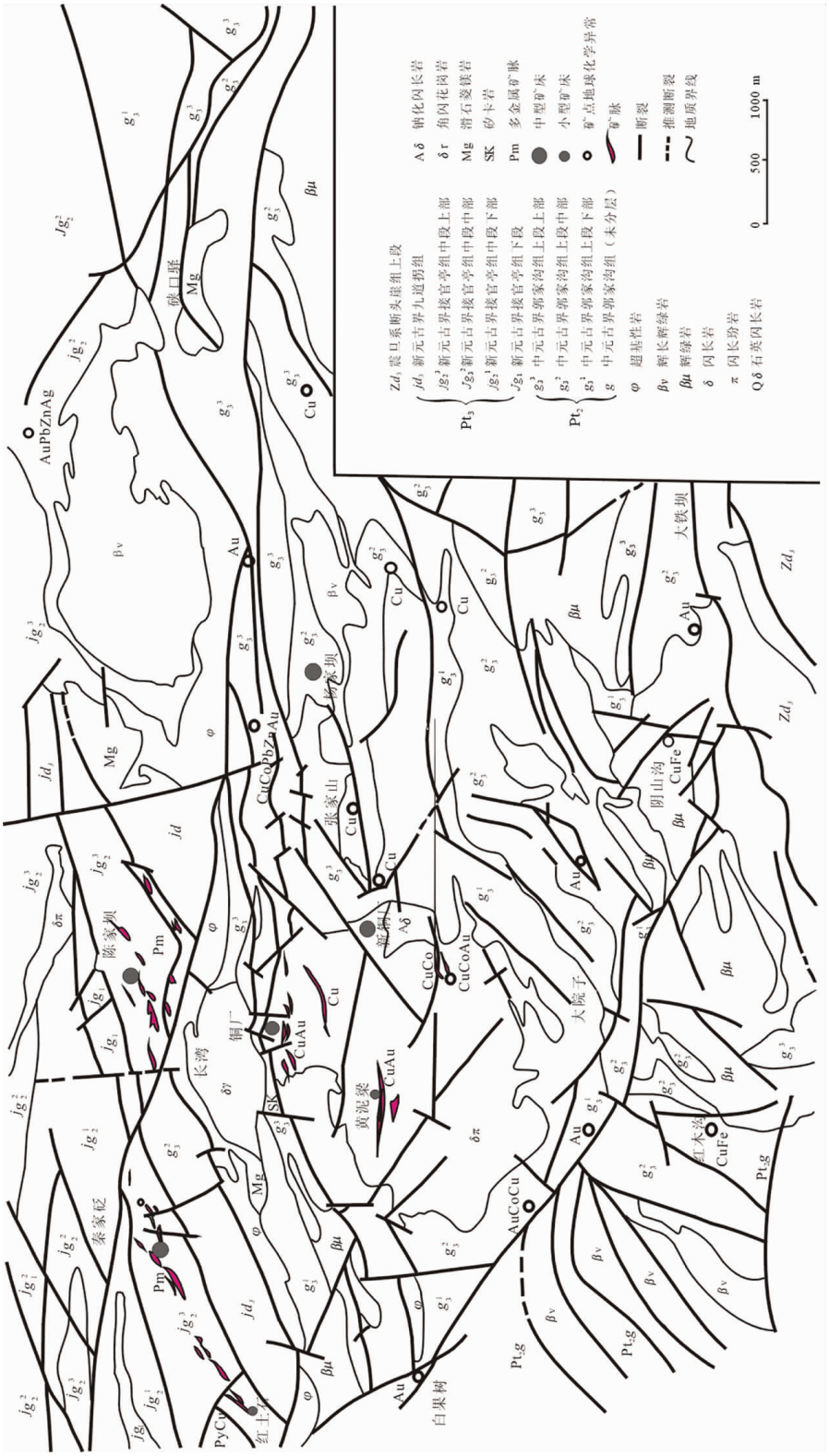



图 1　铜厂矿田地质及矿床(点)分布简图(据西北有色地质勘查局 711 队❶1994 图件详细修绘)

Fig.1　Geology of the Tongchang Orefield, Shaanxi, and distribution of ore deposits (occurrences) (modified from No. 717 Party, Northwest Bureau of Non-ferrous Minerals Geology and Exploration, 1994)

❶西北有色地质勘察局. 陕西省洛阳县铜矿田地质普查报告, 1994.

群产于片理化构造破碎蚀变带内。在闪长岩体北侧已查明有 3 条铜矿脉密集带,由 20 多个矿体组成。

Ⅰ号矿带:产于岩体北缘内接触带的片理化带中,矿带长 600 余米,宽 80 m,由 10 个矿体组成,其中Ⅰ-9 号脉为主矿体,控制走向延长达 1700 m,延深达 900 m,矿体厚度 0.2~6.5 m,平均品位 Cu 2.91%。矿体东西走向呈舒缓波状雁列分布,连续性好,沿倾斜方向倾角变缓部位厚度变大,局部为北东走向,向南或南东倾,倾角 45~85°。矿体的上下盘围岩均有细脉浸染状的铜矿化,近地表发育有次生富集的辉铜矿矿体。

Ⅲ号矿带:矿体产于闪长岩体中的北东向片理化带,主要由Ⅲ-1,Ⅲ-2,Ⅲ-4,Ⅲ-5 等 4 个矿体组成,由多条的 Cu-Au-Co 石英碳酸盐矿脉组成,一般呈脉状、透镜状、串珠状,主要分布在 N30~60°E 向和近 EW 向的断裂中。其产状:走向 N44~80°E,倾向 SE,倾角 62~87°。矿体长 200 m,厚度一般 20~60 cm。金属矿化出现水平分带现象:从东到西大致依次出现 Cu、Co-Cu (Au)、Cu、Au-Au 矿化和构造地球化学异常[4],见多条 Cu-Au-(Co)多金属的石英-碳酸盐脉分布;在闪长岩体外,发现多个 Au、Cu-Co、Pb-Zn-Ag 的矿(化)点 (图 1)。该类型的矿床 (化) 与外接触带的火山喷流沉积-改造型矿床(化)、矽卡岩型矿床形成"三位一体"的分布格局[1]。

Ⅴ号矿带:矿体产于岩体北部外接触带的斜长绿帘石岩,矿带长达 1100 m,宽 100 m,由大小不同的 6 个矿体或矿化体组成;矿体延长 75~400 m,延伸 400 m,走向东西,向南倾,倾角 60°。

### 1.2 矿物组成及其组构

主要的矿石矿物有黄铜矿、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、闪锌矿和金-银系列矿物。脉石矿物主要有方解石、石英、绢云母、铁白云石、绿泥石和钠长石。

(1)矿石矿物:在闪长岩体中,黄铁矿有两期:第一期呈立方体、五角十二面体的自形-半自形晶、压碎结构;第二期呈半自形-他形结构,多为早期黄铁矿被改造的产物。黄铁矿常被磁黄铁矿包裹呈包含结构,或被磁黄铁矿和毒砂交代形成残余结构,或被脉状黄铜矿穿插或包围。含有第二期黄铁矿的矿石,矿物种类较复杂,黄铜矿含量较高,金含量也相应增高;黄铜矿呈他形集合体产出,常呈脉状结构穿插于黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿中,或交代黄铁矿,毒砂呈交代结构和文象结构,还见到黄铜矿包裹磁铁矿,或呈脉状分布于磁铁矿或方解石、石英中;磁黄铁矿与第二期黄铁矿共生,呈他形粒状结构,可见磁黄铁矿中有黄铜矿细脉穿插;毒砂呈自形菱面体-半自形粒状结构,多被黄铜矿交代形成骸晶结构,或黄铜矿呈乳滴状分布于毒砂中;黝铜矿呈他形粒状结构分布于黄铜矿中,或呈脉状结构穿插于早期黄铁矿和磁黄铁矿中。还可见黝铜矿与黄铜矿的固溶体分离结构;闪锌矿多呈他形细粒结构,常交代磁黄铁矿呈交代结构;磁铁矿少见,呈他形粒状集合体与网脉状、乳滴状结构分布于脉石矿物中。

(2)脉石矿物:方解石常呈自形-半自形粒状结构,常被磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿细脉穿插;石英常伴随方解石出现,早期石英与方解石组成含铜矿脉,石英分布于脉的边部,方解石分布于中心部位;晚期石英与方解石组成的脉体,石英分布在脉的中心,方解石分布在边部;铁白云石呈细脉状和透镜状分布于片理化闪长岩中,常呈自形-半自形粒状结构,为成矿期后之产物。

### 1.3 矿物生成顺序和成矿阶段划分

根据矿床的宏观特征、矿物共生组合及矿石结构构造等特征,其成矿过程划分为两个成矿期(气成热液期和改造热液期),改造热液期可分成 3 个成矿阶段:(1)黄铁矿-毒砂-方解石-石英阶段;(2)多金属硫化物阶段;(3)黄铁矿-碳酸盐-石英阶段。

## 2 矿物包裹体地球化学

### 2.1 矿物包裹体特征

研究表明,在钠长石和蚀变斜长石中液体包裹体不太发育,数量少,而在石英和方解石中较为发育。矿物中的流体包裹体一般细小,多数为 1~6 μm,类型相对单一。按流体包裹体的物理性状和相态组合,发育 4 种类型的包裹体:(1)液体包裹体;(2)气体包裹体;(3)纯液体包裹体;(4)含液相 $CO_2$ 多相包裹体。以液体包裹体和纯液体包裹体最为发育。4 类包裹体按成因均是原生包裹体,有以下特点[5]:

(1)蚀变斜长石和钠长石均是闪长岩中的矿物发生热液蚀变的产物。其中未见熔融包裹体,研究证明钠长岩是闪长岩遭受钠化的结果。

(2) 主要发育液相包裹体和纯液相包裹体。蚀变斜长石的包裹体特征与成矿热液直接结晶生成的石英和方解石包裹体的特征存在差异性和相似性。

## 2.2 成矿流体的物理化学条件

### 2.2.1 均一温度与盐度

矿物包裹体的均一温度有两个明显的峰值（表1):190~210℃和 200~230℃,反映了早、主成矿阶段的下限温度。中国科学院地质研究所(1990)测定的铜厂磁铁矿爆裂温度在 350℃以上,铜矿矿物爆裂温度为 170~330℃,主要集中于 320~330℃。叶霖等[6]测得方解石的均一温度为 98~150.3℃。所以,成矿早阶段的成矿温度为 200~330℃; 主阶段的成矿温度为 190~210℃,晚阶段为 98~150℃。

成矿流体的盐度为中—低盐度,NaCl 为 3.4%~16.4%, 大致反映出两个峰值 (表 2):6.0%~9.0%和 11.0%~12.0%,反映了早、主成矿阶段流体盐度的差异。综合成矿流体的均一温度和盐度特征与矿床地质特征分析,推断气成热液期处于高温环境;改造热液期早阶段处于中温–中低盐度的热液环境; 成矿主阶段为中低温–低盐度的热液环境。故矿床主要在中–低温条件下形成,为中–低温热液矿床。

### 2.2.2 成矿压力和成矿深度估算

采用 NaCl–$H_2O$ 体系相图和不同密度的 NaCl 等容线,根据液体包裹体均一温度及盐度进行压力估算(表 2)。研究认为,用相图估算的压力还应包括上覆岩层的静压力(Ph)、流体压力和形成矿物包裹体时的构造应力, 从而可以估算出实际的成矿压力和深度 (表 2)。因此, 成矿压力大致为 48.7~73.2 MPa,成矿深度为 0.5~1.45 km,处于中等深度,显然与实际情况吻合。

**表 2 铜厂矿床成矿压力和深度估算**

**Table2 Estimates of ore–forming pressures and depths of the Tongchang deposit**

| 样品号 | 成矿压力/Mpa | | 成矿深度/km | 采样地点 |
|---|---|---|---|---|
| | *P* | $P_h$ | | |
| Lr29-5 | 63.5 | 27.35 | 1.09 | L29 |
| Lr67-3 | 58.4 | 22.25 | 0.89 | L67 |
| Lr69 | 50.3 | 14.15 | 0.57 | L69 |
| LM27 | 70.2 | 34.05 | 1.36 | L27 |
| Lo52 | 59.3 | 23.12 | 0.92 | L52 |
| Lo67 | 73.2 | 37.02 | 1.48 | L67 |
| To7 | 60.5 | 24.32 | 0.97 | 铜 1139 坑 |
| To5 | 72.1 | 35.92 | 1.44 | 铜 1100 坑 |
| To2 | 70.6 | 34.42 | 1.38 | 铜 1100 坑 |
| To4 | 51.7 | 15.52 | 0.62 | 铜 1100 坑 |
| TD1 | 57.2 | 21.02 | 0.84 | 铜 1100 坑 |
| LD170 | 48.7 | 12.52 | 0.50 | L170 点 |
| LD6 | 49.1 | 12.92 | 0.52 | L6 点 |

**表 1 铜厂矿床矿物包裹体均一温度及盐度**

**Table 1 Homogeneity temperatures and salinities of inclusions in the Tongchang deposit**

| 标本编号 | 测定矿物 | 气相百分比 /% | 大小/μm | 均一温度/ ℃ | | 盐度/wt%NaCl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 温度范围 | 平均值 | 盐度范围 | 平均值 |
| Lr29-5 | 钠长石 | 5～10 | 6～8 | 198～250 | 225 | 4.8～8.1 | 6.0 |
| Lr67-3 | 钠长石 | 5～10 | 6～8 | 163～234 | 199 | 4.1～7.2 | 5.9 |
| Lr69 | 斜长石 | 5～15 | 6～8 | 166～244 | 197 | 6.7～9.9 | 8.0 |
| LM27 | 斜长石 | 10～20 | 6～10 | 194～253 | 231 | 10～13.4 | 12.0 |
| Lo52 | 方解石 | 10～15 | 6～8 | 178～218 | 198 | 5.4～10.6 | 7.8 |
| Lo67 | 方解石 | 10～20 | 5～10 | 223～281 | 248 | 6.2～9.3 | 7.2 |
| To7 | 方解石 | 5～15 | 6～8 | 183～229 | 203 | 7.4～11.2 | 9.3 |
| To5 | 方解石 | 10～20 | 5～10 | 210～278 | 248 | 8.8～12.6 | 10.7 |
| To2 | 石 英 | 10～20 | 6～10 | 215～266 | 241 | 8.4～13.1 | 10.6 |
| To4 | 方解石 | 5～10 | 6～8 | 171～218 | 196 | 3.4～8.6 | 5.3 |
| TD1 | 方解石 | 5～15 | 6～8 | 88～239 | 212 | 4.2～6.7 | 5.6 |
| LD6 | 白云石 | 10-15 | 6-8 | 153-258 | 185 | 7.9-12.3 | 10.0 |

注:测试单位为昆明理工大学。

表 3 铜厂铜矿床成矿流体的特征比值与 $fo_2$、pH

Table 3 Characteristic values and $fo_2$ and pH of ore-forming fluids in the Tongchang deposit

| 矿 物 | 特征比值 | | | | | | Log$f_{O2}$ | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Na^+/K^+$ | $Na^+/Cl^-$ | $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ | $Na^+/Ca^{2+}+Mg^{2+}$ | $SO_4^{2-}/Cl^-$ | $F^-/Cl^-$ | | |
| 磁铁矿 | 2.68 | 0.27 | 7.52 | 0.02 | 2.50 | 0.22 | 36.60 | 6.90 |
| 石英 | 15.73 | 1.55 | 8.15 | 2.99 | 0.17 | 0.05 | 39.60 | 6.60 |
| 石英 | 4.41 | 1.26 | 1.63 | 1.57 | 0.90 | 0.11 | 39.10 | 6.70 |
| 黄铜矿 | 2.02 | 0.80 | 6.03 | 0.03 | 48.00 | 1.92 | 43.10 | 5.60 |
| 黄铜矿 | 0.89 | 0.53 | 4.09 | 0.01 | 60.00 | 2.50 | 48.60 | 5.50 |
| 方解石 | | 0.37 | 28.77 | 0.04 | 10.89 | 0.37 | 49.40 | 6.50 |
| 方解石 | | 1.30 | | 0.25 | | 0.78 | 3.43 | 8.00 |

2.2.3 成矿流体的化学组成

(1)气成热液型矿床的成矿流体化学类型为 $Ca^{2+}-Mg^{2+}-Cl^--SO_4^{2-}-H_2O-CO_2$,含有较高的气相成分;热液型改造矿床的流体化学类型为 $Ca^{2+}-Mg^{2+}-F^--SO_4^{2-}-H_2O-CO_2-CH_4$。因此,从气成热液型→改造热液型矿床,成矿流体中 $H_2O$、$CO_2$、$CH_4$、$Ca^{2+}$、$F^-$、$SO_4^{2-}$逐渐增高,$Na^+$在硫化物包体水中较高,而在石英包体水中较低,而 $K^+$、$Cl^-$、$Li^+$有降低的趋势。

(2)从成矿早阶段到晚阶段,呈现 $H_2O$、$CO_2$、$CH_4$、$Ca^{2+}$、$F^-$、$SO_4^{2-}$逐渐增高,$Mg^{2+}$、$K^+$、$Cl^-$、$Li^+$逐渐降低的变化规律。

(3)流体中 $Na^+/Ca^{2+}+Mg^{2+}$及 $F^-/Cl^-$变化较大,反映了热液来源的多样性,成矿流体主要为地下热卤水,还有部分岩浆水。从成矿早阶段到晚阶段,$Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$和 $F^-/Cl^-$呈现降低的趋势,反映了成矿热液逐渐向热卤水方向演化的趋势。

2.2.4 pH 值和 $fo_2$ 的估算

该热液系统接近 $CO_2$-NaCl-$H_2O$ 体系,故利用徐文忻[7]求出成矿流体的 pH 值和 $fo_2$(表 3)。其结果表明,气成热液型与热液型矿床成矿早阶段成矿流体 pH 值分别为 6.9、5.5~6.7,因此对闪长岩体和地层岩石中的铜、金有较强的活化能力和较高溶解度,有利于形成含矿热液,到成矿主阶段成矿流体近中性,含矿热液中铜、铁、金等成矿元素因温度和压力下降,其溶解度随之下降,从热液中结晶出金属硫化物;热液型矿床成矿流体 $fo_2$ 为中等,有利于矿质的沉淀。从成矿早阶段到晚阶段,流体系统的 $fo_2$ 随之降低,逐渐演化为弱还原环境。所以,中低温、中压、中等氧逸度和近中性热液条件有利于矿质的沉淀和富集,有利于热液改造型矿床的形成。

## 3 氢氧同位素组成及流体来源

各矿物同位素组成变化较大(表 4),石英的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 2.13‰~5.92‰,$\delta D$ 为-59‰~-87‰;方解石的 $\delta D$ 为-72‰,$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 0.45‰;磁铁矿 $\delta D$ 为 -96‰,$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 13.2‰;石英 $\delta^{18}O$ 变化不大。

流体的氢氧同位素组成(图 2)落在岩浆水和变质水旁,靠近岩浆水一侧,说明成矿早期成矿流体主要来自岩浆水,成矿流体演化到晚成矿阶段,由于大气降水及循环水(建造水)参与,其流体具有大气降水的特征越来越明显,从测定的金属硫化物(黄铁矿和

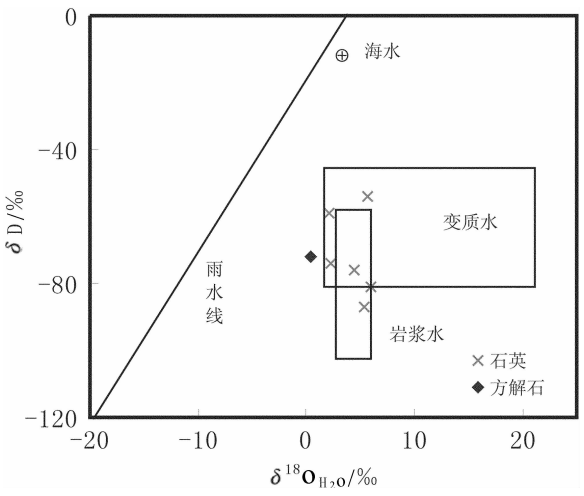



图 2 铜厂矿床成矿流体 $\delta D-\delta^{18}O$ 相关图

Fig.2 $\delta D-\delta^{18}O$ plot of ore-forming fluids in the Tongchang deposit

表 4 铜厂矿床氢氧同位素组成 /‰

Table 4 Hydrogen and oxygen isotopic compositions (‰) in the Tongchang deposit

| 成矿期 | 样 号 | 矿 物 | $\delta^{18}O_{(SMOW)}$ | $\delta D_{(SMOW)}$ | $\delta^{18}O_{(PDB)}$ | $\delta^{18}O_{H_2O(SMOW)}$ | 来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 气成热液期 | CPr-6 | 磁铁矿 | 7.1 | -96 | | 13.2 | |
| 构造热液成矿期 | TO-2 | 石 英(1) | 16 | -81 | | 5.92 | 本文 |
| | LO-67 | 石 英(1) | 15.1 | -87 | | 5.36 | |
| | T-55 | 石 英(1) | 15.6 | -54 | | 5.67 | |
| | T-64 | 石 英(2) | 15.8 | -74 | | 2.26 | [6] |
| | T-71 | 石 英(2) | 17 | -59 | | 2.13 | |
| | TO-7 | 黄铁矿(2) | | -109 | | | |
| | TO-69-1 | 黄铁矿(2) | | -83 | | | 本文 |
| | To-5 | 方解石(2) | 13.06 | | -16.8 | 5.84 | |
| | T-65 | 方解石(2) | 14.2 | -72 | -16.2 | 0.45 | [6] |

注:由中国地质科学院宜昌地质矿产研究所同位素室分析。()内的数字为成矿阶段。$\delta^{18}O_{H_2O}$ 采用下列平衡方程:石英-水:1000 $\ln\alpha_{Q-H_2O}=3.42*10^6T^{-2}-2.86$ [8];方解石-水:1000 $\ln\alpha_{Cc-H_2O}=2.78*10^6T^{-2}-2.89$[9];磁铁矿-水:1000 $\ln\alpha_{Q-H_2O}=-1.47*10^6T^{-2}-3.70$ (Anderson,1971)

黄铜矿)δD 值增大(-83‰~-109‰)足以证明这一演化特征。因此,铜厂矿床的成矿流体为多来源的,即改造水 (海水和大气降水) 和岩浆水及变质水。从改造热液期早阶段到晚阶段,改造水越来越占优势。

## 4 结 论

(1)矿床的成矿过程划分为气成热液期和改造热液期。后者可划分成黄铁矿-毒砂-方解石-石英阶段、多金属硫化物阶段、黄铁矿-碳酸盐-石英阶段。

(2)矿床发育 4 种类型的包裹体:液体包裹体、纯液体包裹体、气体包裹体、含液相 $CO_2$ 多相包裹体。以前两者包裹体最为发育。气成热液型矿床的成矿流体类型为 $Ca^{2+}-Mg^{2+}-Cl^{-}-SO_4^{2-}-H_2O-CO_2$,热液改造型矿床的流体类型为 $Ca^{2+}-Mg^{2+}-F^{-}-SO_4^{2-}-H_2O-CO_2-CH_4$。

(3)成矿流体的物理化学条件是中低温、中压、中等氧逸度和近中性, 该条件有利于热液改造型矿床的形成。

(4)主要成矿流体来源于改造水、岩浆水及变质水, 从改造热液期早阶段到晚阶段, 改造水愈占优势。该矿床为中低温改造型热液矿床。

**致谢**:在本文撰写中,昆明理工大学韩润生教授提出了宝贵的修改意见,并提供了部分测试数据,在此表示衷心感谢。

## 参考文献(References):

[1]韩润生, 金世昌, 刘丛强, 等. 陕西勉略阳地区铜厂矿田矿床(化)类型及其特征[J]. 地质与勘探, 2000, 36 (4):11-15,40.
Han Runshneg, Jin Shichang, Liu Congqiang, et al. Deposit types and their characteristics in the Tongchang Orefield, Mian County-Lueyang-Yangpingguan Area, Shaanxi [J]. Geology and Prospeting, 2000, 36(4):11-15, 40(in Chinese with English abstract).

[2] 韩润生, 朱大岗, 马德云, 等. 陕西铜厂矿田控矿断裂带显微构造特征[J]. 地质地球化学, 2000, 28(1):28-33.
Han Runsheng, Zhu Dagang, Ma Deyun, et al. Micro-structures features of ore-forming fault belts in the Tongchang ore-filed, Shaanxi[J]. J. of Geology and Geochemistry, 2000, 28(1):28-33(in Chinese with English abstract).

[3] 韩润生, 刘丛强, 马德云, 等. 陕西铜厂矿田陈家坝地区构造地球化学特征及其定位预测[J]. 地质与勘探, 2000, 36(5):66-69.
Han Runshneg, Liu Congqiang, Ma Deyun, et al. Fault tectono-geochemical features and ore-forming prognosis orientation in the Chenjiaba Area, Tongchang Orefield,Shaanxi [J]. Geology and Prospeting, 2000, 36(5):66-69(in Chinese with English abstract).

[4] 韩润生, 刘丛强, 马德云, 等. 陕西铜厂地区断裂构造地球化学及定位成矿预测[J]. 地质地球化学, 2001, 29(3):158-163.
Han Runsheng, Liu Congqiang, Ma Deyun et al. Fault tectono-geochemical features and ore-forming prognosis of orientation in the Tongchang Orefield, Shaanxi [J]. J. of Geology and Geochemistry, 2001, 29(3):158-163(in Chinese with English abstract).

[5] 韩润生, 马德云, 刘丛强, 等. 陕西铜厂矿田构造成矿动力学[M]. 昆明:云南科技出版社, 2003:1-90.

Han Runsheng, Ma Deyun, Liu Congqiang, et al. Dynamics of Tectonic Ore-forming Processes in the Tongchang Ore-field, Shaanxi[M]. Kunming: Yunnan Science and Technolog Press, 2003: 1-90(in Chinese with English abstract).

[6] 叶霖, 等. 陕西勉宁略地区铜厂铜矿地球化学特征 [J]. 地质找矿论丛, 1997, (4): 41-46.
Ye Lin, et al. Geochemical characteristics of the Tongchang copper deposit in Mian County-Lueyang-Yangpingguan Area, Shaanxi[J]. J. of Geology and Ore-finding Discussion, 1997, (4): 41-46 (in Chinese with English abstract).

[7] 徐文忻, 等. 矿物包裹体成分数据的热力学计算方法及应用[J]. 矿产地质研究院学报, 1985, (1): 5-9.
Xu Wenxin, et al. Method and its application of thermodynamic calculation for composition data of mineral inclusion [J]. Acta of Institute of Mineral Resources and Geology, 1985, (1): 5-9 (in Chinese with English abstract).

[8] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1985.
Zhang Ligang, Application of Stable Isotope in Geological Science [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1985(in Chinese).

[9] O'Neil J R, Clayton R N, Mayada T K. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates [J]. J. Chem. Phys., 1969,51: 5547-5558.

# Geological characteristics and geochemistry of ore-forming fluid in the Tongchang copper-gold polymetallic deposit, Shaanxi

ZHOU Sheng-hua

(*Geological Survey Center for China Non-ferrous Metal Resources, Beijing* 100012, *China*)

**Abstract**: The Tongchang copper-gold polymetallic deposit is a typical deposit of the Tongchang ore field in the Mian-Lue-Yang metallogenic province in China. Based on the study of the geological characteristics of the deposit, the ore-forming process may be divided into the pneumatolyto-hydrothermal period and reworked hydrothermal period. The latter may be subdivided into the pyrite-arsenopyrite-calcite-quartz stage, polymetallic sulfide stage and pyrite-carbonate-quartz stage. It is especially the case with the Cu-Au-(Co) polymetallic quartz-carbonate orebody occurring in NE-trending schistose zones of the diorite, where metallic mineralization is featured by horizontal zoning: from east to west there appear Cu→Co-Cu (Au)→Cu→Au-Au mineralizations and their tectono-geochemical anomalies. Four types of fluid inclusion are developed: vapor-liquid inclusions, liquid inclusions, vapor inclusions and liquid $CO_2$-bearing polyphase inclusions, of which the first two types are dominant. Medium- and low-temperature, medium-pressure, moderate-oxygen fugacity and nearly neutral ore fluid conditions are favorable to the formation of the reworked hydrothermal deposits. The ore fluids were derived from reworked water (heated seawater and precipitation), magmatic water and metamorphic water. From the early to late stages of the reworked hydrothermal period, the reworked water was more and more dominant. So the deposit is regarded as a reworked meso-and epithermal deposit.

**Key words**: geological characteristics of deposit; fluid geochemistry; Tongchang copper-gold polymetallic deposit; Tongchang ore field; Shaanxi

---

**About the author**: ZHOU Sheng-hua, male, born in 1963, senior geologist, mainly engages in metal mineral reconnaissance and exploration and geological and geochemical studies; E-mail: joe630415@163.com.