文章编号:0258-7106 (2009) 04-0462-11

山西中条山洞沟铜矿地质特征及找矿前景分析*

赵 斌[1,2],王登红[3†],陈振宇[3],陈毓川[3]

(1 长安大学,陕西 西安 710054;2 山西省地球物理化学勘查院,山西 运城 044004;3 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘 要 赋存在方解石脉中的铜矿不是铜矿的主要类型,但世界上与碳酸岩和幔源岩浆作用有关的铜矿不仅存在,而且可以达到大型以上的规模。中条山地区曾经是中国铜矿主要产地之一,除了产出沉积变质型铜矿和斑岩型铜矿之外,含铜方解石脉也广泛出现,但以往的地质工作对其找矿前景均给予了"潜力不大"的评价。根据近年来在洞沟方解石脉型铜矿的深部发现独立金矿和独立银矿的事实,结合初步的成因矿物学研究和综合分析,文章认为,中条山铜矿带洞沟方解石脉型铜矿,其成因与胡家峪-篦子沟明显不同,但具有幔源岩浆流体直接成矿的可能性,其深部具有进一步找矿的前景。该研究为区域上重新评价老矿点、开拓找矿思路、拓展找矿空间提供了依据。

关键词 地质学;方解石脉型铜矿;找矿前景;洞沟铜矿;中条山

中图分类号:P618.41 **文献标志码**:A

Geological characteristics and ore-search prospects of Donggou copper deposits in Zhongtiaoshan area, Shanxi Province

ZHAO Bin[1,2], WANG DengHong[3], CHEN ZhenYu[3] and CHEN YuChuan[3]

(1 Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 Institute of Geophysical and Geochemical Survey, Yuncheng 044004, Shanxi, China; 3 Institute of Mineral Resources; Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Although copper deposits hosted in calcite veins do not constitute the main type of copper deposits, copper deposits related to carbonatite and mantle-derived magmatism do exist and in some cases can even reach large size in scale. Zhongtiaoshan area was once one of the main producing areas of copper resources in China. Besides the metamorphic sedimentary type and the ancient porphyry type copper deposits, there are abundant copper-bearing calcite veins. However, previous geological work all gave an assessment of "poor potential for prospecting" for these veins. Based on recent discovery of independent gold deposits and silver ore bodies at the depth of the Donggou calcite vein type copper deposit, in combination with a preliminary genetic mineralogy study and comprehensive analysis, the authors consider that the genesis of the Donggou calcite vein type copper deposit is distinctively different from that of the Hujiayu and the Bizigou copper deposits. The Donggou deposit might have resulted from direct mineralization by mantle-derived magmatic fluids, and hence it not only is of remarkable significance as an independent ore type but also has great potential for further prospecting at its depth. In addition, it provides reference for reevaluating the old deposits, broadening the prospecting thought and expanding the

* 本文得到"我国重要矿产和区域成矿规律研究"项目(编号:1212010633903)、"中国成矿体系综合研究"项目(编号:1212010634002)的联合资助

第一作者简介 赵 斌,男,1965 年生,高级工程师,在读博士生,主要从事地球物理勘查及矿产勘查工作。Email:sxwhyzb@gmail.com

† 通讯作者 王登红,男,1967 年生,研究员,从事矿床学研究。Email:wangdenghong@vip.sina.com

收稿日期 2009-04-08;改回日期 2009-05-14。李 岩编辑。

prospecting space in Zhongtiaoshan area.

Key words: geology, calcite vein type copper deposit, potential for prospecting, Donggou copper deposit, Zhongtiaoshan area

中条山曾经是中国最重要的铜矿基地之一，尤其是 20 世纪 50 年代，随着胡家峪-篦子沟（以下简称胡-篦）型铜矿的勘查、开发和利用，中条山式沉积变质型铜矿成为当时继白银厂式黄铁矿型铜矿和铜陵式矽卡岩型铜矿之后的重要铜矿类型，中条山也成为中国著名的铜矿带。多年来，诸多学者在中条山（特别是东北段）进行过大量的、系统的科学研究，在矿床地质、地球化学、矿床成因、成矿背景和找矿勘查等方面取得了一些重要的研究成果（中条山铜矿地质编写组，1978；山西省地质科学研究所，1990❶；冀树楷等，1992；孙大中等，1991；孙海田等，1990；孙继元等，1995；陈平等，2002❷）。20 世纪 70 年代以来，随着斑岩型铜矿的大量勘查、开采、开发，胡家峪、篦子沟等铜矿床面临资源枯竭，中条山式铜矿的地位越来越低，有人甚至认为在中条山地区寻找铜矿已经意义不大，但是近年来，山西地球物理化学勘查院等单位在中条山西南段相继发现了桃花洞等产于变质火山岩中的铜多金属矿床、洞沟铜矿和三岔沟金、钼矿等。本文以洞沟（八一）铜矿为例，对该区找矿前景作一分析，以期指导找矿。

1　中条山地区地质概况

中条山铜矿带位于鄂尔多斯地块与河淮地块结合带的南端。该结合带是在中朝克拉通前寒武纪三叉裂谷基础上发展起来的，起始于新太古-元古宙。

中条山地区先后发生了涑水运动、绛县运动、中条运动和西阳河运动等几次大规模的地壳运动，形成了各具特色的岩石建造、构造形迹、岩浆活动和成矿作用的构造层。它们是：以花岗质岩石为主体的涑水杂岩（太古代基底岩）；以变质双峰式火山岩为代表的绛县群（横岭关亚群第一亚构造层、铜矿峪亚群第二亚构造层）和以冒地槽建造为特征的中条群及担山石群（中条群第一亚构造层，担山石群第二亚构造层），东部被广泛发育安山岩的西阳河群及古生代弱变形或未变形岩石覆盖。它们之间以不同的构造式样相区别。显示不同的构造岩石组合及热动力学过程，反映了不同地史阶段中华北地台南缘的地壳演化特征（图 1）。

中条山是一个典型的前寒武纪变质核杂岩出露区，涑水杂岩以长英质片麻岩为主；绛县群下部为横岭关亚群（平头岭组石英岩、铜凹组复理式沉积建造），上部为铜矿峪亚群（后山村组石英岩、园头山组绢云母片岩、骆驼峰组绢英岩、西井沟组超钾质基性火山岩、竖井沟组超钾质流纹岩、宋家山组变细碧岩、火山碎屑岩和沉积岩）；中条群地层，为由砂质、泥砂质、泥质岩及碳酸盐岩等经区域变质而成的浅变质岩系；西阳河群，主要为一套厚的安山岩类，夹有少量正常沉积碎屑岩。

太古宙涑水杂岩，主要分布在中条山西侧，特别是西南段，可与五台山-太行山的阜平群、吕梁山的界河口群、秦岭的太华群相对比，它们共同形成了克拉通结晶基底。新太古代绛县群主要分布在中条山东北端，为一套广泛分布的双峰态超钾质火山岩系和细碎屑岩优地槽沉积建造，标志着中条裂谷的发育。元古代以来裂谷内火山活动减弱，转化为坳拉槽型深裂陷槽，沉积有陆源碎屑岩、泥质岩及碳酸盐岩等正常沉积，其中有小规模细碧岩及基性岩墙、岩床侵入。

2　洞沟（八一）铜矿地质特征

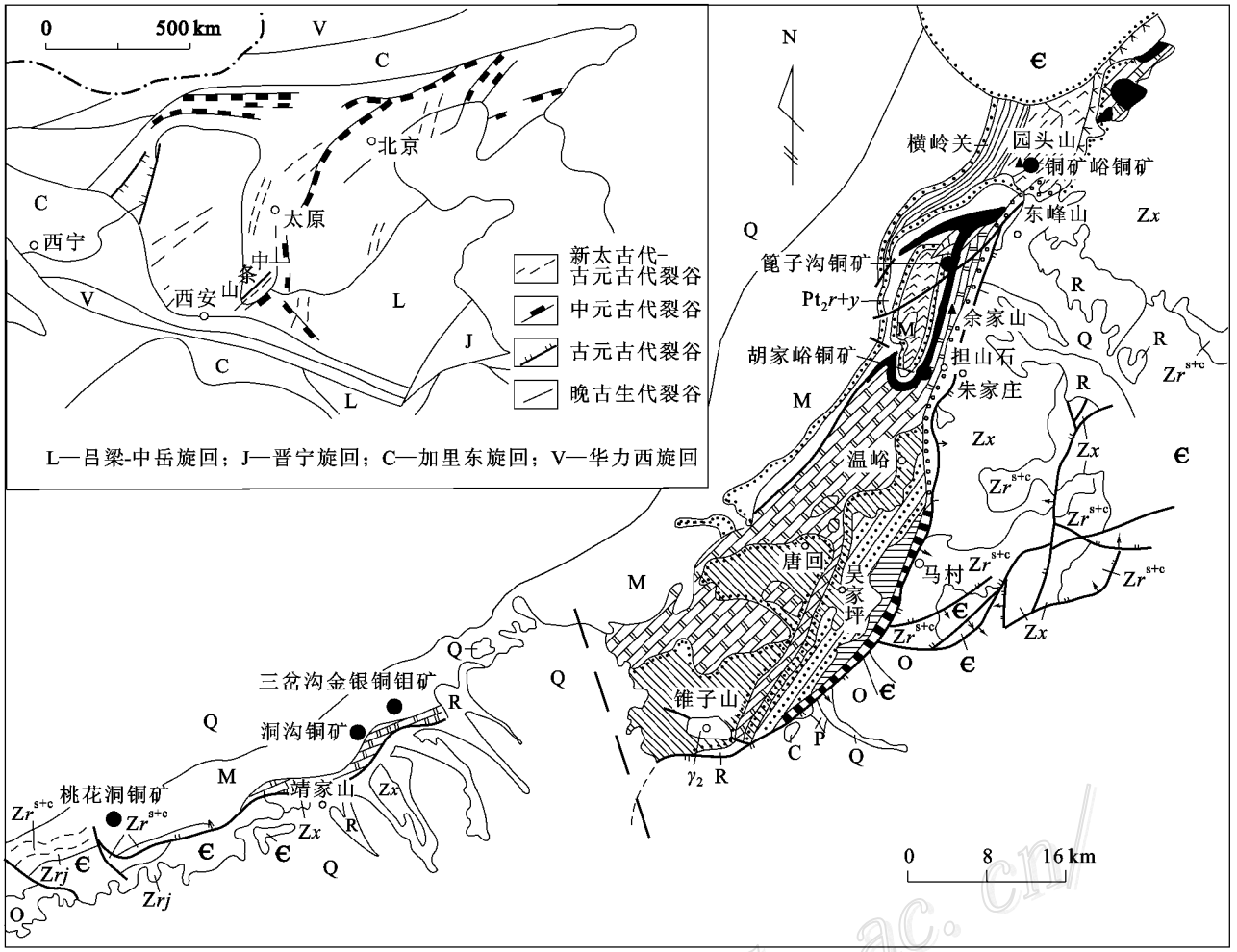
2.1　矿床概况

洞沟铜矿（也称为八一铜矿）位于运城市盐湖区西姚乡义同村南 4 km 处，地处中条山西南段分水岭北侧。区内矿产资源较为丰富，主要有金、铜、铁、石料、砂以及盐等。

该区采矿历史悠久，早在东汉末年就在此开采铜。1958 年，晋南（山西省地质局）213 地质队在该区进行普查时，探求洞沟铜矿点铜金属量仅为 351 t。

❶ 山西省地质科学研究所. 1990. 中条山区铜矿找矿远景研究. 内部报告.

❷ 陈　平，张京军，贾秀明. 2002. 山西省矿床成矿系列特征及主要成矿区带的形成规律与成矿远景. 内部报告.



Q 第四系黄土	R 第三系红土、砂砾岩	P 二叠系石英砂岩、黄绿色页岩、薄煤层	C 石炭系铁铝岩类、煤层
O 奥陶系白云岩、灰岩	∈ 寒武系砂砾岩、灰岩、白云岩	Zrj 洛峪口组白云岩	Zr^{s+c} 崔庄组-水幽组紫红色页岩粉砂质页岩、石英岩状砂岩
Zx 西阳河群安山岩、玄武安山岩	担山石群变质砾岩、石英岩	马村群石英岩、蓝色片岩	陈家山组千枚岩
吴家坪组石英岩	温峪组蓝色片岩	余家山组白云质大理岩	篦子沟组浅粒岩
Pt_2r+y 余元下组和龙峪组白云大理岩和千枚岩、片岩	宋家山组碎屑岩夹碳酸盐岩、基性火山岩	铜矿峪组变质火山岩	铜矿峪组绢云石英片岩
横岭关组片岩	平头岭组石英岩	M 涞水杂岩片麻岩、斜长角闪岩、磁铁石英岩	γ_2 神仙岭花岗岩
正断层	逆断层	性质不明断层	不整合面

图 1 中条山地区区域地质略图(据中条山铜矿地质编写组,1978 修改)

Fig. 1 Simplified regional geological map of Zhongtiaoshan area (modified after Zhongtiao Mountain Copper Deposits Compile Group, 1978)

http://www.kcdz.ac.cn/

1968～1970 年，华北公司（冶金工业部）521 队普查时，概算铜金属量为 14 000 t，矿体中铜平均品位为 0.57%，金平均品位 0.51 g/t，银平均品位为 24.88 g/t。冶金工业部第三地质勘查局 311 地质队于 1987 年提交的‘山西省运城市西姚乡洞沟金银铜多金属矿普查地质报告’❶中指出，探求铜金属量 3 427.66 t，金金属量 14.23 kg，银金属量 12 287.43 kg，铅金属量 57.26 t，钼金属量 4.12 t 求得全区铜矿平均品位铜为 0.61%，金平均品位为 1.64 g/t，银平均品位为 191.76 g/t，铅平均品位为 0.93%，钼平均品位为 0.037%；另外铜矿中伴生银品位 11.96 g/t，含银金属量 5 896.50 kg。虽然不同矿种的规模均较小，但该区成矿地质条件有利。目前，对该区勘探工作程度较低，对矿床成因和成矿机制的认识尚较肤浅，对其外围和深部找矿前景的研究乃是当务之急。

2.2　矿区地质特征

洞沟矿区位于Ⅱ级构造单元豫西断隆之Ⅲ级构造单元中条断拱西南部，矿区内出露的主要为太古代变质地质体，复杂的空间形态反映其经过了多期、多幕的变形史。涑水期构造由于受晚期构造强烈改造而残缺不全，区域性构造格局难以恢复，和绛县期构造揉为一体，主要表现为深层次的塑性流动、韧性剪切及压扁作用，从而形成一系列复杂揉流褶皱、韧性剪切、同斜紧闭褶皱、深融条带等。在区域上形成一系列古老表壳岩强烈褶皱，并伴有大规模水平韧性剪切、横向构造置换及广泛的深融作用，形成透入性区域性片麻理及条带状构造，同时局部地段有岩浆岩侵入。

矿区内出露的地层（岩石）主要为混合花岗岩、条带状混合岩、混合片麻岩及斜长角闪岩、角闪岩、角闪片岩、黑云母片岩、石英绿泥石片岩等（图 2）。片理和片麻理走向一般为 50°左右，倾向南东，倾角 45～85°。

含铜方解石脉受北东向断裂构造系统控制，倾向南东，倾角 45～60°不等，脉体呈肠状，脉长 1 500 m，宽 20～30 m，最薄 3～4 m，方解石常和石英伴生。由区域构造及脉状产出特征和容矿断裂构造性质等综合分析，形成洞沟含铜方解石脉的断裂构造，其应力场为东西向逆时针扭动应力体系作用结果。成矿后断层主要为北西向，规模较小，矿体破坏性不大，仅局部错位。洞沟矿区西 7 km 处有蚕房燕山期花岗闪长岩体（出露面积约 6 km²），而矿区内主要分布有燕山期岩脉，主要有闪长玢岩、花岗闪长斑岩、石英正长斑岩等。

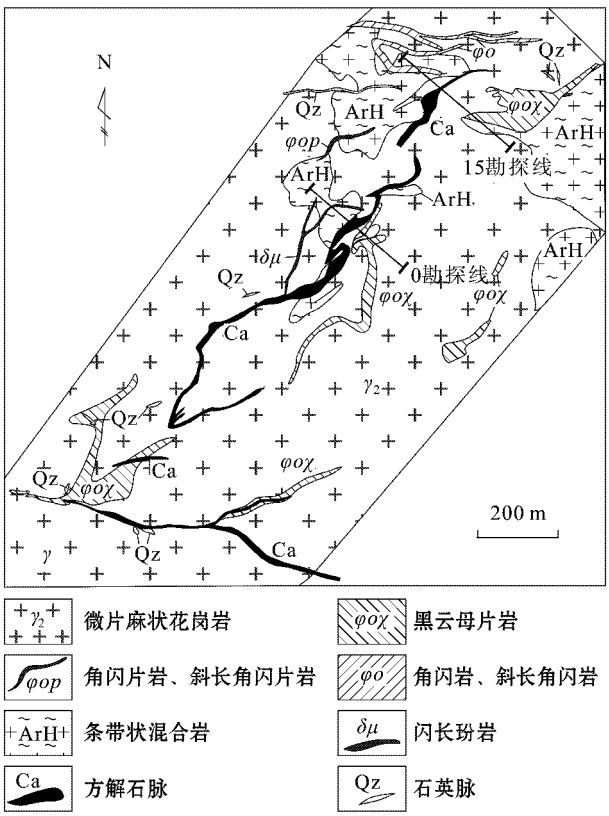


图 2　运城洞沟含铜方解石脉矿区地质略图（据蒋丽华等，1992 简化）

Fig. 2　Simplified geological map of the Donggou copper-bearing calcite vein ore district in Yuncheng (simplified from Jiang et al., 1992)

2.3　矿床地质特征

该区以铜矿化为主，铜矿体主要分布于 0～4 勘探线和 15 勘探线 2 个地段内，其他仅零星分布。地表圈出 4 个铜矿体，共求得铜金属量 1 526 t，在 15 线为一隐伏铜矿体（Cu_5），其中 Cu_1 号矿体（图 3）规模相对较大，探求铜金属量 1 483 t，占全区总储量的 97.18%，该矿体是矿山的主要开采对象。

Cu_1、Cu_5 号矿体赋存于 NE 向展布的石英-方解石脉中，该矿化带主要受含 Cu 方解石脉及 NE 向构造控制。从开采情况看，Cu_1 矿体由 3 个平行排列的雁行状矿体组成，矿体沿走向断续出露，长度 500 m，厚度变化较大（0.8～12 m，平均厚度 5.87 m）。矿

❶ 冶金工业部第三地质勘查局 311 地质队. 1987. 山西省运城市西姚乡洞沟金银铜多金属矿普查地质报告. 内部报告.

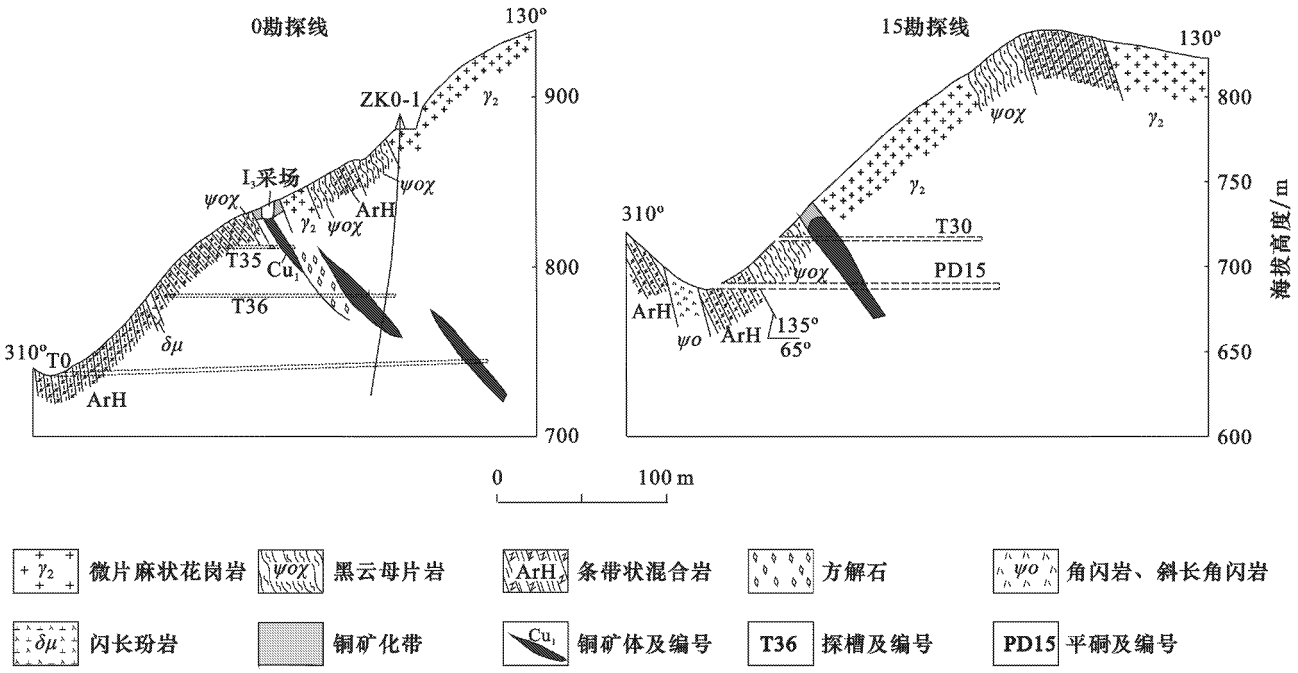


图 3 运城洞沟铜矿剖面图

Fig. 3 Geological section along the exploration line of the Donggou copper deposit in Yuncheng

体出露最大标高 913 m,最低标高 722 m;埋藏最低标高 690 m。Cu_5 矿体主要隐伏于地下浅部,厚度变化于 5.36～11.24 m 之间,平均 8.30 m,矿体出露标高最大 829 m,最低 670 m。矿体呈层状、似层状、透镜体状产于方解石脉中,沿走向及倾向矿体具有尖灭再现现象,Cu_1、Cu_5 走向 NE-SW 向,倾向 SE,倾角 45～85°。

围岩蚀变主要有黄铁矿化、硅化、绢云母化、碳酸盐化。

区内矿石基本为原生矿,仅在裂隙附近有少量氧化矿产出。矿石结构为交代残余结构和他形变晶结构,矿石构造有角砾状、细脉状、浸染状及团块状。

矿石的矿物成分:金属矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、辉钼矿;次为闪锌矿、辉银矿、银铜矿及黑钨矿等,另有少许自然金和自然银。非金属矿物有石英、方解石、黑云母及角闪石等。部分矿物的电子探针分析结果见表 1 和表 2。

2.4 主要矿物特征

2.4.1 黄铁矿

(1) 黄铁矿的 S、Fe 含量及 S/Fe 比值

洞沟铜矿中黄铁矿的 S 含量平均 53.171%,Fe 含量平均 45.659%。根据前人研究(徐国风等,1980):沉积成因的黄铁矿主要化学组分Fe和S的含量与理论标准值相近或 S 略多;黄铁矿型铜矿床、多金属矿床中的黄铁矿比标准值亏 S;与火山作用有关的低温热液型高岭土矿床中之黄铁矿 S、Fe 含量与标准含量极为相近;与超基性岩有关的铜镍矿床中的黄铁矿 S 含量比标准值略低。洞沟铜矿 S/Fe 比值(原子比)一般与理论值接近或略大于 2.00,平均 2.029,即比黄铁矿的理论值略高。胡家峪铜矿中黄铁矿的 S/Fe 比值(原子比)平均为 2.024,与洞沟铜矿相似。

(2) 黄铁矿的 Co、Ni 含量及 Co/Ni 比值

一般而言,近代沉积和前寒武纪同生沉积矿床中黄铁矿 Co 含量多为几十 $\times 10^{-6}$,镍含量大于钴含量。与侵入、喷出杂岩系有关的矿床中黄铁矿的钴、镍含量都很高(1 000 $\times 10^{-6}$以上),尤其是岩浆矿床及与火山作用有关的矿床钴的含量更高。受热液影响的黄铁矿大多数钴含量较高(100 $\times 10^{-6}$以上),且钴的含量大于镍的含量。火山沉积矿床中黄铁矿的钴含量比一般正常沉积矿床中黄铁矿的钴含量要高,火山沉积变质型黄铁矿矿床中黄铁矿的 Co/Ni 比值为 1.21～4.67,接触交代型矽卡岩型银铁矿床中黄铁矿的钴含量也较高,并具有独立的工业意义,而矽卡岩型铁-钨、锡、钼、铅锌矿床中黄铁矿的钴含量则较低,各种类型金矿脉中黄铁矿的钴含量大于镍含量。某些沉积矿床中黄铁矿的镍含量

表 1　山西运城‘洞沟’铜矿主要脉石矿物的电子探针分析值(w_B/%)

Table 1　Electron microprobe analyses of main gangue minerals from the Donggou copper deposit(w_B/%)

测试点号	矿物名	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Cr_2O_3	NiO	La_2O_3	Ce_2O_3	总量
81-2-01-Hb4	阳起石	54.94	0.00	0.24	13.29	0.37	15.41	12.88	0.00	0.00	0.01	0.01	0.07	0.05	0.00	97.27
81-2-02-Hb5	阳起石	52.94	0.01	1.16	14.80	0.36	13.43	11.99	0.10	0.04	0.00	0.18	0.07	0.00	0.03	95.11
81-2-01-Hb6	阳起石	52.79	0.01	0.44	13.83	0.56	14.12	12.18	0.08	0.02	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	94.11
81-2-02-Hb6	阳起石	51.06	0.04	2.07	18.19	0.83	11.08	12.29	0.29	0.26	0.01	0.08	0.20	0.00	0.00	96.40
81-2-02-Ep10	绿帘石	37.76	0.03	23.43	11.94	0.07	0.00	23.52	0.01	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.01	96.84
81-2-02-Ep7	绿帘石	37.39	0.04	21.12	14.53	0.05	0.02	23.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	96.37
81-2-02-Gt2	石榴子石	36.78	0.02	4.43	23.59	0.57	0.00	33.25	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	98.76
81-2-02-Gt3	石榴子石	36.55	0.02	3.58	24.73	0.57	0.00	32.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	98.42
81-2-01-Gt5	石榴子石	36.20	0.03	2.68	25.04	0.31	0.01	33.42	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03	97.78
81-2-02-Gt4	石榴子石	35.88	0.02	4.20	23.20	0.77	0.05	33.17	0.03	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	97.42
81-2-01-Gt8	石榴子石	35.88	0.01	0.59	27.55	0.35	0.00	33.15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	97.59
81-2-02-Gt9	石榴子石	35.70	0.01	2.06	25.81	0.50	0.00	32.87	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	97.03
81-2-01-Gt2	石榴子石	35.70	0.00	0.57	28.44	0.51	0.00	32.81	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	98.10
81-2-01-Gt10	石榴子石	35.45	0.00	0.34	27.31	0.48	0.00	33.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	97.03
81-9-02-Ca1	白云石	0.47	0.00	0.46	10.25	0.81	13.83	28.20	0.00	0.18	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	54.23
81-9-02-Ca2	白云石	0.33	0.00	0.15	10.32	1.02	13.92	28.17	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	54.24
81-2-01-Fe3	磁铁矿	0.17	0.00	0.10	93.50	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.06	0.03	94.12
81-9-01-Ca7	白云石	0.09	0.00	0.00	20.65	0.44	6.19	27.15	0.12	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	54.70
81-2-01-Fe7	磁铁矿	0.07	0.00	0.00	93.19	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	93.40
81-2-02-Ap8	磷灰石	0.04	0.00	0.00	0.13	0.04	0.00	55.91	0.00	0.00	41.94	0.00	0.02	0.05	0.03	98.16
81-9-02-Ca7	方解石	0.04	0.00	0.00	0.40	0.27	0.14	55.87	0.00	0.04	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	56.82
81-10-02-Ca4	白云石	0.04	0.01	0.04	16.01	0.47	8.55	30.04	0.02	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	55.29
81-10-01-Ca1	方解石	0.03	0.00	0.00	0.53	0.41	0.13	56.37	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	57.54
81-10-01-Ca2	方解石	0.03	0.00	0.00	0.51	0.52	0.19	55.65	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	56.97
81-9-01-Ca1	方解石	0.00	0.00	0.00	0.83	0.22	0.35	56.82	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	58.28
81-10-01-Ca3	方解石	0.00	0.00	0.00	0.50	0.30	0.12	56.76	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	57.69
81-10-01-Ca4	方解石	0.00	0.00	0.01	0.56	0.40	0.09	56.27	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	57.36
81-2-01-Ap9	磷灰石	.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	56.03	0.00	0.00	41.91	0.01	0.00	0.00	0.00	97.98
81-10-02-Ca1	方解石	0.00	0.01	0.01	0.57	0.38	0.19	55.90	0.00	0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	57.13
81-9-02-Ca6	方解石	0.00	0.01	0.01	1.45	0.45	0.60	54.04	0.00	0.02	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	56.66
81-9-02-Ca8	方解石	0.00	0.00	0.00	0.85	0.22	0.27	53.35	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.06	0.00	54.80
81-9-01-Ca6	白云石	0.00	0.00	0.00	14.90	0.43	8.60	31.27	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	0.07	55.35
81-9-02-Ca5	白云石	0.00	0.00	0.02	16.83	0.44	8.06	30.39	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	55.79
81-9-01-Ca8	白云石	0.00	0.01	0.03	14.67	0.65	9.97	29.80	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	55.18
81-9-01-Ca3	白云石	0.00	0.00	0.00	16.79	0.42	8.87	29.60	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	55.78
81-10-02-Ca3	白云石	0.00	0.00	0.05	17.61	0.50	8.02	29.51	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.06	0.06	55.87
81-9-02-Ca3	白云石	0.00	0.00	0.00	17.66	0.68	9.20	28.64	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	56.22
81-10-02-Ca2	白云石	0.00	0.00	0.00	18.00	0.46	9.42	28.13	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	56.08

更高。而且，在一般情况下，在同一矿床中早世代黄铁矿比晚世代黄铁矿的钴含量要高（徐国凤等，1980）。洞沟铜矿的黄铁矿相对富 Co 贫 Ni，Co 的含量较高，一般都在 $3\,000\times10^{-6}$ 以上，个别超过 2%，Ni 的含量多数在 300×10^{-6} 以下，Co/Ni 比值较高。胡家峪铜矿中黄铁矿的 Co 含量一般也都在 $3\,000\times10^{-6}$ 以上，但 Ni 含量总体相对较高（600×10^{-6} 以上），因此其 Co/Ni 比值明显低于洞沟铜矿。对照上述黄铁矿的 Co、Ni 含量成因特征，洞沟铜矿和胡家峪铜矿在成因上与岩浆侵入或火山作用有关。

（3）黄铁矿的 Se 含量及 S/Se 比值

硒也是黄铁矿的标型元素之一。沉积成因黄铁矿含硒低（w_{Sn} 一般在 2×10^{-6} 以下），其 S/Se 比值在 250 000～500 000 之间；岩浆热液成因黄铁矿含硒一般较高〔$(20\sim50)\times10^{-6}$，但也有部分较低〕，其 S/Se 比值为 10 000～26 700（徐国风等，1980）。洞沟铜矿中黄铁矿的 Se 含量一般为几十 $\times10^{-6}$，S/Se 比值在 10 000～27 000 之间，胡家峪铜矿中黄铁矿的 Se 含量相对较高，一般为几百 $\times10^{-6}$，S/Se 比值相对较低，在 1 000～4 300 之间。即洞沟铜矿中黄铁

表 2 山西运城'洞沟'铜矿主要金属矿物的电子探针分析值(w_B/%)

Table 2 Electron microprobe analyses of main ore minerals from the Donggou copper deposit(w_B/%)

测试点	矿物	As	S	Fe	Se	Ag	Cu	Sb	Zn	Pb	Au	Bi	Ni	Te	Co	总量
81-10-4-Cp5	黄铜矿	0.00	34.56	29.54	0.00	0.03	34.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	98.36
81-10-4-Cp5	黄铜矿	0.00	34.37	29.49	0.00	0.02	34.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	98.18
81-9-2-Cp4	黄铜矿	0.00	34.64	29.74	0.00	0.02	35.25	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.08	99.80
81-9-2-Py3	黄铁矿	0.00	51.05	43.87	0.00	0.09	3.76	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.58	0.04	0.38	99.79
81-9-2-Cp2	黄铜矿	0.00	34.47	29.74	0.01	0.01	34.94	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	99.29
81-9-2-Py1	黄铁矿	0.02	53.34	45.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.02	1.55	100.97
81-9-1-Cp3	黄铜矿	0.00	34.63	29.88	0.00	0.01	35.17	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	99.75
81-9-1-Py2	黄铁矿	0.00	53.19	46.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.06	99.88
81-9-1-Cp1	黄铜矿	0.00	34.13	29.90	0.00	0.00	34.49	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	98.57
81-2-4-Cp3	黄铜矿	0.00	34.06	30.06	0.00	0.01	34.73	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.08	98.99
81-2-4-Py2	黄铁矿	0.02	53.04	45.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.22	100.33
81-2-4-Cp1	黄铜矿	0.00	34.21	29.55	0.00	0.02	34.19	0.00	0.03	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	98.09
81-2-3-Py3	黄铁矿	0.00	3.31	46.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.77	100.47
81-2-3-Cp2	黄铜矿	0.00	34.40	29.97	0.00	0.00	34.63	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	99.06
81-2-3-Cp1	黄铜矿	0.00	34.41	29.48	0.00	0.02	34.39	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	98.38
81-2-2-Cp6	黄铜矿	0.00	34.51	29.93	0.00	0.00	34.37	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	98.88
81-2-2-Cp5	黄铜矿	0.01	34.53	29.34	0.00	0.00	34.47	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	98.42
81-2-2-Cp4	黄铜矿	0.00	34.60	29.86	0.00	0.00	34.86	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	99.38
81-2-2-Cp3	黄铜矿	0.00	34.13	29.70	0.00	0.00	34.47	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	98.38
81-2-2-Cp2	黄铜矿	0.00	34.57	29.30	0.00	0.04	34.43	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	98.45
81-2-2-Py1	黄铁矿	0.01	53.16	45.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.64	99.68
81-2-1-Py6	黄铁矿	0.00	53.41	45.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.88	100.26
81-2-1-Cp5	黄铜矿	0.00	34.62	29.47	0.00	0.00	34.60	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	98.76
81-2-1-Py4	黄铁矿	0.03	53.33	46.55	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.20	100.25
81-2-1-Cp3	黄铜矿	0.04	34.10	29.92	0.03	0.00	34.39	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	98.61
81-2-1-Py2	黄铁矿	0.00	53.56	45.64	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	1.23	100.50
81-2-1-Cp1	黄铜矿	0.00	34.11	30.94	0.00	0.01	33.67	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.03	98.86
81-10-4-Cp2	黄铜矿	0.00	34.51	29.99	0.00	0.06	34.18	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.07	98.88
81-10-4-Cp1	黄铜矿	0.00	34.80	29.60	0.00	0.06	34.26	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	98.74
81-10-3-Py7	黄铁矿	0.00	53.32	44.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	2.34	100.55
81-10-3-Py6	黄铁矿	0.00	53.41	44.56	0.03	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	1.83	99.96
81-10-3-Cp5	黄铜矿	0.00	34.59	29.66	0.00	0.08	34.38	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	98.77
81-10-3-Cp4	黄铜矿	0.00	34.91	29.81	0.00	0.07	34.91	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	99.78
81-10-3-Cp3	黄铜矿	0.00	34.64	29.97	0.00	0.08	34.85	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	99.66
81-10-3-Cp2	黄铜矿	0.00	34.68	29.60	0.00	0.06	34.71	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	99.16
81-10-3-Cp1	黄铜矿	0.00	34.77	29.95	0.05	0.06	34.78	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	99.72
81-10-2-Py5	黄铁矿	0.04	53.49	46.54	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.72	100.84
81-10-2-Cp4	黄铜矿	0.00	34.43	29.13	0.00	0.05	34.42	0.02	0.05	0.00	0.08	0.00	0.02	0.01	0.08	98.29
81-10-2-Cp3	黄铜矿	0.01	34.61	29.37	0.00	0.06	35.07	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07	99.25
81-10-2-Cp2	黄铜矿	0.02	34.92	29.78	0.00	0.06	34.59	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.07	99.50
81-10-2-Cp1	黄铜矿	0.00	34.42	29.62	0.00	0.06	34.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.31
81-10-1-Cp4	黄铜矿	0.00	34.50	29.30	0.00	0.08	32.63	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	96.56
81-10-1-Py3	黄铁矿	0.04	53.40	46.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	1.12	100.64
81-10-1-Cp2	黄铜矿	0.00	34.26	29.52	0.00	0.07	34.16	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	98.12
81-10-1-Py1	黄铁矿	0.03	53.40	45.52	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	1.40	100.45

矿的 Se 含量明显低于胡家峪铜矿,而 S/Se 比值则大大高于胡家峪铜矿。对照上述黄铁矿中 Se 的含量及 S/Se 比值成因特征,洞沟铜矿中的黄铁矿更接近于岩浆热液成因。

2.4.2 黄铜矿的特征

对比洞沟铜矿、篦子沟铜矿和胡家峪铜矿中的黄铁矿,三者的 S/Fe 比值分别平均是 2.02、2.033 和 1.99,Co/Ni 比值分别平均是 5.65、7.51 和 1.79,

即 S/Fe 比值和 Co/Ni 比值呈正相关关系。

2.4.3　碳酸盐

洞沟铜矿脉石矿物主要为方解石和白云石，其主要成分平均含量（w_B/%）为：方解石 CaO 55.67、MgO 0.23、MnO 0.35、FeO 0.69，白云石 CaO 29.17、MgO 9.51、MnO 0.57、FeO 15.79。两者的 SiO_2、TiO_2、Al_2O_3、Na_2O、K_2O、P_2O_5、Cr_2O_3、NiO、La_2O_3、Ce_2O_3 等含量均很低。胡-篦型铜矿铁白云石的主要化学成分（w_B/%）为：CaO 28.66、MgO 17.78、MnO 0.506、FeO 4.73（中条山铜矿地质编写组，1978）。显然洞沟铜矿方解石脉和透镜体中的白云石比胡-篦型铜矿白云石钙含量高，镁的含量则较低。胡-篦型铜矿最具工业价值的富矿是大型脉状矿石，其特点是脉石矿物成分稳定且不因主岩性不同而有所差异，这种大型脉状矿石属晚期热液富集叠加改造成因，是中条期内区域热流变质作用的结果（王世安等，1995❶）。而洞沟铜矿中白云石与胡-篦型铜矿中白云石明显不同，所以其成因不应为变质热液成因。

3　讨　论

3.1　洞沟铜矿的成因

从工业类型的角度看，洞沟铜矿与中条山地区其他类型的铜矿最大的区别在于其脉石矿物主要是碳酸盐矿物（碳酸盐矿物多于硅酸盐矿物）（见表 1），属于“含铜方解石脉型”。在地质产状上，该矿床以脉状产出为特点，与中条山主要类型的层状、似层状或者说“层控型”铜矿明显不同。然而，由于矿脉产于变质岩中，也有人认为此类矿脉属于碳酸盐岩地层变质形成的，不是热液矿脉。在 1∶20 万三门峡幅区调报告中，该矿称为“八一”（洞沟）铜矿，属于脉型铜矿的代表；究竟是变质成因还是热液成因？成矿物质究竟是在变质过程中聚集还是另有来源？对这些问题的探讨有助于深化对其成因的认识和对找矿前景的分析。

鉴于目前对该矿床的研究程度很低，资料缺乏，仅仅从地质特征和对矿石矿物、脉石矿物的成因矿物学研究的角度，本文提出如下看法：

（1）洞沟铜矿在产出特征上与中条山地区胡家峪-篦子沟式铜矿有所不同。胡家峪和篦子沟矿区的矿石主要赋存在中条群篦子沟组受变质的“喷气岩”中，具体包括条纹状电气石岩（柿沟）、石英钠长石岩（老宝滩）、金云母石英白云石大理岩（南和沟、桐木沟）、绢云母石英片岩（老宝滩）等，而洞沟矿区的矿石主要呈含矿石英-方解石脉充填于太古界涑水群的片麻岩和片岩中。矿脉中还有一些石榴子石、绿帘石和阳起石等矿物；

（2）洞沟铜矿的主要矿物无论是黄铜矿还是黄铁矿均与胡家峪-篦子沟式铜矿中的同类矿物具有明显不同的成分特征。从图 4 可见，洞沟铜矿与胡家峪-篦子沟相比，黄铜矿具有明显的“高铜低铁”的特征，而黄铁矿则相对富集 S。或者说，洞沟矿区黄铁矿的 S 含量与理论值接近，而胡家峪黄铁矿明显亏损 S。从成因矿物学的角度看，洞沟铜矿的黄铁矿跟岩浆型铜镍硫化物矿床中的黄铁矿最接近，而与胡家峪不同，后者落在沉积型矿床的范围内（图 5），与其喷气沉积成因（孙海田等，1990）特征是一致的；

（3）洞沟铜矿的脉石矿物中也有白云石，但这种白云石与胡家峪-篦子沟铜矿中喷气成因的白云石在化学成分上也明显不同（图 6）。前者明显富集 FeO 和 MnO，而 MgO 偏低。虽然国内外对于不同金属中热液成因白云石的研究资料积累得还不是太多，但从图 7 也大致可见，沉积矿床尤其是沉积变质矿床（包括磷矿和重晶石矿床）中的白云石是富集

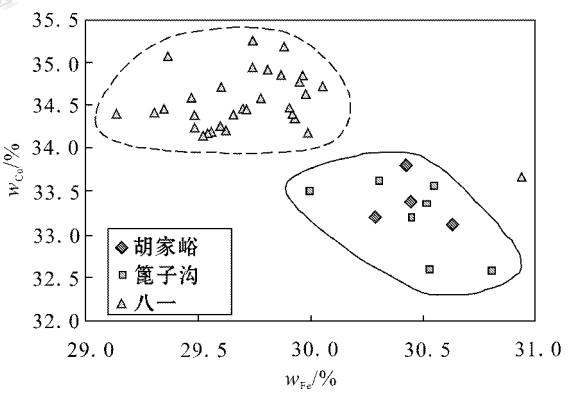


图 4　中条山地区不同铜矿中黄铜矿的 Fe-Cu 成分对比

Fig. 4　Fe-Cu diagram of chalcopyrite in different copper deposits of Zhongtiaoshan area

❶ 王世安，白　瑾，李树屏，曹家树，陈文明，余致信，范成模. 1995. 山西中条山地区前寒武纪铜矿成矿条件及找矿预测. 内部报告.

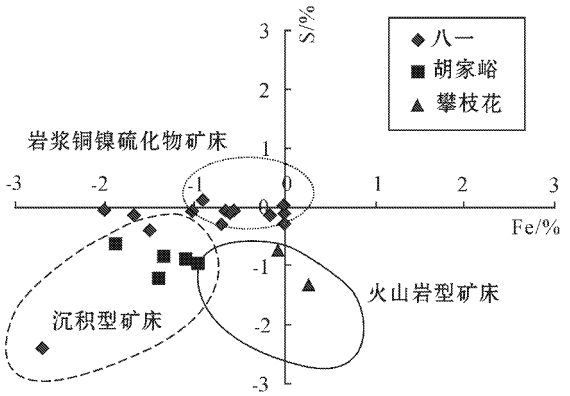


图 5 中条山铜矿中黄铁矿的 ΔFe-ΔS 成因图解

点线为新疆喀拉通克等岩浆铜镍硫化物矿床中黄铁矿的优势分布区,虚线为沉积矿床(包括正常沉积、喷气沉积和沉积变质)中黄铁矿的优势分布区,实线为火山岩型和岩浆型铁矿中黄铁矿的优势分布区(王登红等,2002)

Fig. 5 ΔFe-ΔS genetic diagram of pyrites

Dotted line represents dominant distribution area of pyrite in magmatic copper-nickel sulfide deposits of Kalatongke (Xinjiang) and some other areas, dash line signifies dominant distribution area of pyrite in sedimentary ore deposits (normal sedimentary, exhalative and meta-sedimentary deposits), and solid line indicates dominant distribution area of pyrite in volcanic and magmatic iron deposits (Wang et al., 2002)

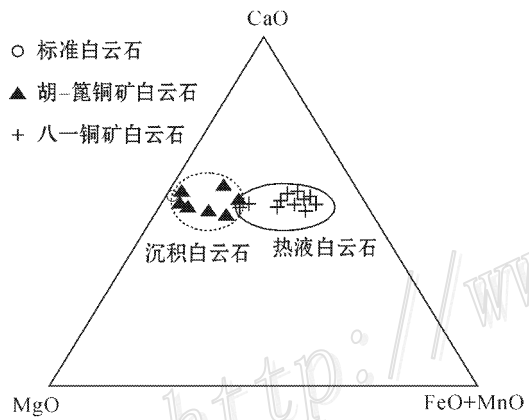


图 6 中条山两类白云石成分的对比

Fig. 6 Triangular diagram showing two types of dolomite in different copper deposits of Zhongtiaoshan area

MgO 的(变质作用的结果可能使其成分更'纯'),岩浆热液成因则可能由于物质组份比较'杂'而不同程度地混入 Fe、Mn 等元素,以至于 MgO 含量明显偏低。矿石金属矿物组合中出现黑钨矿、辉钼矿等,也反映其成因与岩浆关系密切。

简言之,上述初步的分析结果表明,洞沟铜矿与胡家峪-篦子沟式铜矿在地质产状、矿物组合、矿

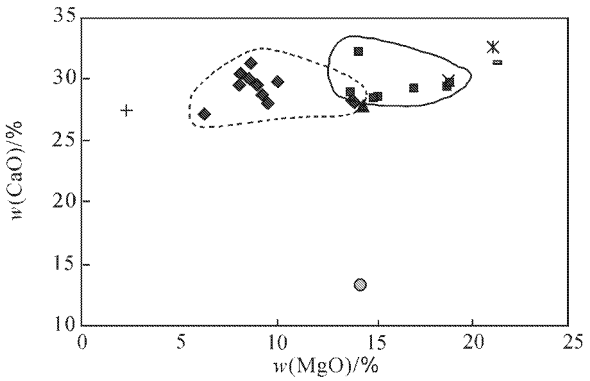


图 7 不同矿区白云石的 MgO-CaO 图解

八一矿区资料对应于表 2,胡-篦矿区资料参考孙海田等(1990),其他参考王濮等(1984)

Fig. 7 MgO-CaO diagram of dolomites in different copper deposits of Zhongtiaoshan area

物化学成分等方面是明显不同的,前者属于岩浆热液成因的可能性更大。

3.2 洞沟铜矿的找矿方向

洞沟铜矿的特殊之处在于其呈含铜方解石脉产出。显然,类似的铜矿在国内外均不是太多,但也有大型以上规模者,如南非的 Phalaborwa。该矿床的矿石资源量达 850 Mt(Viljoen et al.,1999),其中 Cu 的平均品位为 0.5%,相当于 425 万吨铜金属量,另外还伴生有 Au、Ag、PGE、U、Zr、REE、Ni、Se、Te 和 Bi 等矿产资源可以综合利用。该矿床在地质特征上与一套岩浆碳酸岩和碱性岩关系极为密切,在成因上属于幔源岩浆-流体的产物。鉴于中条山铜成矿带区域上和洞沟矿区常见辉绿岩、煌斑岩等幔源岩浆岩(图 1 中因比例尺关系而略去),出现幔源岩浆碳酸岩的可能性是不能排除的。因此,在加强寻找胡家峪-篦子沟式沉积变质型(原始成因可能属于海底喷气沉积型)铜多金属矿床的同时,也不妨开拓新的找矿思路,明确新的找矿方向。据目前所知,中条山的脉状铜矿规模不大,但分布十分广泛,包括沿断裂裂隙带充填和沿片理、片麻理贯入 2 种产状。其中:①沿断裂破碎带或岩石节理裂隙贯入的脉状铜矿。遍布下古生界以前的各时代地层中,以涑水群为最多。按矿物组合又可分为含铜石英脉和含铜石英-碳酸盐岩脉 2 种。前者矿化点多,品位较富,与围岩界线清楚。含铜硫化物呈星散状,团块状,不均

http://www.kcdz.ac.cn

匀分布于石英脉中，但规模很小。仅个别侵入震旦系安山岩中的石英脉较大。如马家川含铜石英脉宽 1～2 m，长 1 800 m。后者目前已知的矿点、矿化点虽不多，多充填于断裂破碎带中及其次级裂隙内。规模较大，含矿较均匀，品位中等。如走马岭、红石头沟、相家坎、“八一”等。含铜矿物以黄铜矿为主，次有黄铁矿、辉铜矿及铜的氧化物，伴生有金。在桃沟、瓦渣沟、铜峪等矿点含铜矿脉中还伴生有方铅矿和闪锌矿。②沿片麻岩、角闪片岩的片理、片麻理或层间破碎带贯入的含铜石英-方解石脉。集中在运城解州以南的太古界涑水群出露区，以薛家岭短轴背斜北翼和东倾伏端较多，如冯家窑、姬家窑、老虎头、李家窑和柏峪口等。含铜石英脉、石英-方解石细脉和脉旁围岩中均有矿化，组成规模较大的似层状或透镜状矿化带。长度一般 100～1 000 m，宽 5～20 m，伴生有金。在含铜石英-方解石细脉密集处往往形成工业矿体。如解州柏峪口铜矿区的含铜石英-方解石脉主要沿黑云角闪片岩片理贯入，矿化发生于脉内和脉旁围岩中。组成 2 个矿化带，其长度分别为 300 m 和 350 m，宽 5～25 m，产状 30°∠60°，共有矿体 34 条。矿体长 20～160 m，宽 0.35～4.85 m，平均品位可达 0.53%～1.39%。主要含铜矿物为黄铜矿及其氧化物，次有辉铜矿、斑铜矿等。围岩蚀变有硅化、碳酸盐化、黑云母化等。

4　结　论

综合野外初步考察和室内对成因矿物学的初步研究结果，结合洞沟（八一）铜矿近年来开采过程中的新发现（含铜方解石脉到深部可变为富银矿体，并可圈定出 4 个独立的银矿体），同时根据独立金矿体存在的事实，本文认为对于洞沟铜矿的找矿前景需要重新认识。

（1）确切地讲，洞沟铜矿的成因还没有查明，但初步的成因矿物学资料表明，其成因显然与沉积变质型铜矿不同，但不排除幔源岩浆热液直接成矿的可能性；

（2）洞沟铜矿不是单一的铜矿。无论是同一矿脉还是同一矿区均存在 Au、Ag、Mo 等元素与 Cu 共生的现象，有的地区还可以圈出独立的金矿体和银矿体。因此，需要综合评价；

（3）洞沟铜矿深部找矿。考虑到洞沟铜矿赋存于方解石脉中，此类矿脉如果是幔源岩浆直接成矿的话，则应该研究此类矿脉垂直分带的规律，为深部找矿提供依据；

（4）洞沟铜矿是中条山地区铜多金属成矿谱系的一部分，也是各种类型铜矿的一个代表。尽管胡家峪-篦子沟式的铜矿是中条山铜矿的主体类型，但石英脉型和方解石脉型的铜矿除了具有找矿标志意义外，其本身也可能达到大型规模。

综上所述，中条山地区以洞沟为代表的脉型铜矿虽然已知矿床的规模不大，但矿化点分布十分普遍，前寒武纪各时代地层中都能见到；尽管以往的地质工作均给予“潜力不大”的评价，但近年来洞沟铜矿的采矿实践表明，不但其深部有潜力，而且不只是单一的铜矿。因此，在对洞沟铜矿的成因机制和找矿标志开展进一步研究的基础上，一方面开展深部找矿工作，同时对以往判断“潜力不大”的地区开展综合找矿，在中条山地区扩大铜多金属矿床的找矿前景是完全可能的。

References

Geological Bureau of Shanxi Province. 1972. Specification of mineral map of People's Republic of China (Yuncheng, Sanmenxia) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 185p (in Chinese).

Ji S K, Tu Z R and Li S P. 1992. Metallogenic-and exploration models for copper deposit in Zhongtiao mountain [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-115 (in Chinese).

Jiang L H and Zhen Y Q. 1992. Rare earth elemental geochemistry of copper bearing calcite in Baiyukou, Yuncheng [J]. Shanxi Geol., 7 (1): 85-90 (in Chinese with English abstract).

Sun D Z, Li H M, Lin Y X, Zhou H F, Zhao F Q and Tang M. 1991. Precambrian geochronology, chronotectonic framework and model of chronocrustal structure of the Zhongtiao mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 65 (3): 216-231 (in Chinese with English abstract).

Sun H T and Ge C H. 1990. Zhongtiaoshan type hydrothermal jet genetic copper deposit [M]. Beijing: Beijing Sci. & Tech. Press. 131p (in Chinese).

Sun J Y, Ji S K and Zhen Y Q. 1995. The copper deposits in the Zhongtiao rift [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-174 (in Chinese).

Viljoen M J and Reimold W U. 1999. An introduction to South Africa's geological and mining heritage, Johannesburg [J]. The Geological Society of South Africa and Mintek, 112-115.

Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Li T D and Fu X J. 2002. Metallogenic series and metallogenic regularity of Altai mineralization province [M]. Beijing: Atomic Energy Press. 493p (in Chinese).

Wang P, Pan Z L and Weng L B. 1984. Systematic mineralogy [M].

Beijing: Geol. Pub. House. 734p(in Chinese).

Xu G F and Shao J L. 1980. Typomorphic characteristics of pyrite and their practical implications[J]. Geol. Rev., 26(6): 541-546(in Chinese with English abstract).

Zhen Y Q. 1999. Metallogenesis and prospecting of copper ores in the Zhongtiao rift zone[J]. Journal of Guilin Instiute of Technology, 9-18(in Chinese with English abstract).

Zhongtiao Mountain Copper Deposits Compile Group. 1978. Geology of copper deposits in Zhongtiao mountain[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 190p (in Chinese).

附中文参考文献

冀树楷,傅昭仁,李树屏,路九如,刘仁亮. 1992. 中条山铜矿成矿模式及勘查模式地质专报[M]. 北京:地质出版社. 117 页.

蒋丽华,真允庆. 1992. 运城白峪口含铜方解石稀土元素地球化学特征[J]. 山西地质,7(1):85-90.

山西省地质局. 1972. 中华人民共和国矿产图说明书(运城幅、三门峡幅)[M]. 北京:地质出版社. 185 页.

孙大中,李惠民,林源贤,周慧芳,赵凤清,唐 敏. 1991. 中条山前寒武纪年代学、年代构造格架和年代地壳结构模式的研究[J]. 地质学报,65(3):216-231.

孙海田,葛朝华. 1990. 中条山式热液喷气成因铜矿床[M]. 北京:北京科学技术出版社. 131 页.

孙继元,冀树楷,真允庆. 1995. 中条裂谷铜矿床[M]. 北京:地质出版社. 1-174.

王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京:原子能出版社. 493 页.

王 濮,潘兆橹,翁玲宝. 1984. 系统矿物学(下)[M]. 北京:地质出版社. 734 页.

徐国风,邵洁莲. 1980. 黄铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质论评,26(6):541-546.

真允庆. 1999. 中条裂谷铜矿床的成矿规律及找矿方向[J]. 桂林工学院学报,19(1):9-18.

中条山铜矿地质编写组. 1978. 中条山铜矿地质[M]. 北京:地质出版社. 190 页.

http://www.kcdz.ac.cn/