文章编号：1009-6248(2006)03-0001-06

北祁连山石居里一带塞浦路斯型铜矿床岩矿石物性特征

宋忠宝，杨合群[1]，谢春林[1]，李新科[2]，栗亚芝[1]，王兴安[1]，李文明[1]，李长安[1]

（1. 西安地质矿产研究所，陕西 西安 710054；2. 陕西地勘局物化探队，陕西 西安 710400）

摘 要：通过对石居里一带岩矿石物性测量，可知块状矿石视极化率最高，视电阻率最小，为明显低阻高极化显示。碳质板岩、网脉状矿石、含矿碧玉岩视极化率次之，视极化率 6%～9%，视电阻率较高。其余硅质岩、碧玉岩、细碧岩、凝灰质砂岩为高阻低极化，视极化率一般在 1%～3%。由物性参数看出，该区实施激电测量，寻找铜硫化物矿产的物性前提是具备的。碧玉岩磁化率为最高，变化值在 1 030 $\times 4\pi \times 10^{-6}$SI～17 515 $\times 4\pi \times 10^{-6}$SI，平均值达 4 521 $\times 4\pi \times 10^{-6}$SI，次为细碧岩、凝灰质砂岩，磁化率平均为 1 000 $\times 4\pi \times 10^{-6}$SI，～2 000 $\times 4\pi \times 10^{-6}$SI 左右，其余碳质板岩、硅质岩、次生石英岩、不纯碧玉岩、矿石均为弱磁性，在几十至几百之间变化。由于矿体与碧玉岩紧密相关，且高纯度的碧玉岩更是比其他岩性见矿率高，故对于以碧玉岩为标志，以磁性寻找碧玉岩以达到间接找矿，物性前提是具备的。

关键词：视极化率；视电阻率；塞浦路斯型块状硫化物矿床；石居里；北祁连山

中图分类号：P618.41 文献标识码：A

1 引 言

石居里矿区行政区划属甘肃省肃南县雪泉乡，直距肃南县城 22.5 km，地理坐标为：东径 99°21′04″～99°23′29″，北纬 38°49′21″～38°51′23″。该矿区地表呈现放射状的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ和Ⅷ号沟等 8 个支沟水系切割的地貌（图 1）。1∶10 000 地质构造-岩相填图表明，矿区除北东角的志留系和南端局部延入的泥盆系外，主要分布奥陶纪海相火山熔岩和火山碎屑岩等组成。矿区构造方向总体为北西向，Ⅳ号沟一带构造走向有明显向北东凸的扭曲。矿区西南部有北西向韧性剪切带通过，带内有零星超镁铁岩出露，其南侧为大套的基性熔岩，具十分发育的枕状构造。其中，有辉长岩产出，为蛇绿岩套的组合；其北侧除基性熔岩外，还有火山碎屑岩和凝灰质砂板岩夹硅质岩。Ⅷ号沟铜矿床赋存南侧基性凝灰熔岩中，Ⅵ号沟铜矿床和Ⅴ号沟铜矿床赋存于北侧的火山-沉积岩系中。前人的工作已经查明，石居里Ⅵ号沟铜矿床为中型铜矿床，Ⅷ号沟和Ⅴ号沟铜矿床为小型铜矿床，该类矿床类型属塞浦路斯型块状硫化物矿床（李文渊等，1999；杨合群等，2000；杨合群等，2002）。笔者主要探讨塞浦路斯型铜矿床岩矿石的物性特征。

2 矿床地质模型

宋叔和等（1982）根据国内外资料概括，块状硫化物矿床总的形态为蘑菇状，上部为由块状矿石

收稿日期：2005-06-20；修回日期：2005-11-18

基金项目：中国地质调查局地质调查项目“北祁连山错沟—寺大隆一带铜矿预查评价”（编号：200110200152）和国土资源部资源补偿费项目“甘肃省肃南裕固族自治县雪泉铜（锌）矿普查”（编号：中地调发［2003］18 号）资助

作者简介：宋忠宝（1963-），男，陕西澄城人，研究员，主要从事岩石矿产及同位素地质年代学研究，发表论文四十余篇，通讯地址：710054，西安市友谊东路 438 号，西安地质矿产研究所；电话：029-87821955；E-mail：xaszhongbao@cgs.gov.cn

的透镜体组成的顶盖，下部为与顶盖垂直交切的由细脉浸染状矿化组成的根部。夏林圻等（2001）指出，火山岩系中块状硫化物矿床通常由上下两部分组成：上部是层状和透镜状的块状矿体，下部为网脉状和浸染状矿体，以及被蚀变的岩筒状围岩。一般认为网脉带代表海底热液体系在靠近海底部分的流通通道，层状体或透镜体则是硫化物在海底或近热液喷口处沉淀堆积的产物。

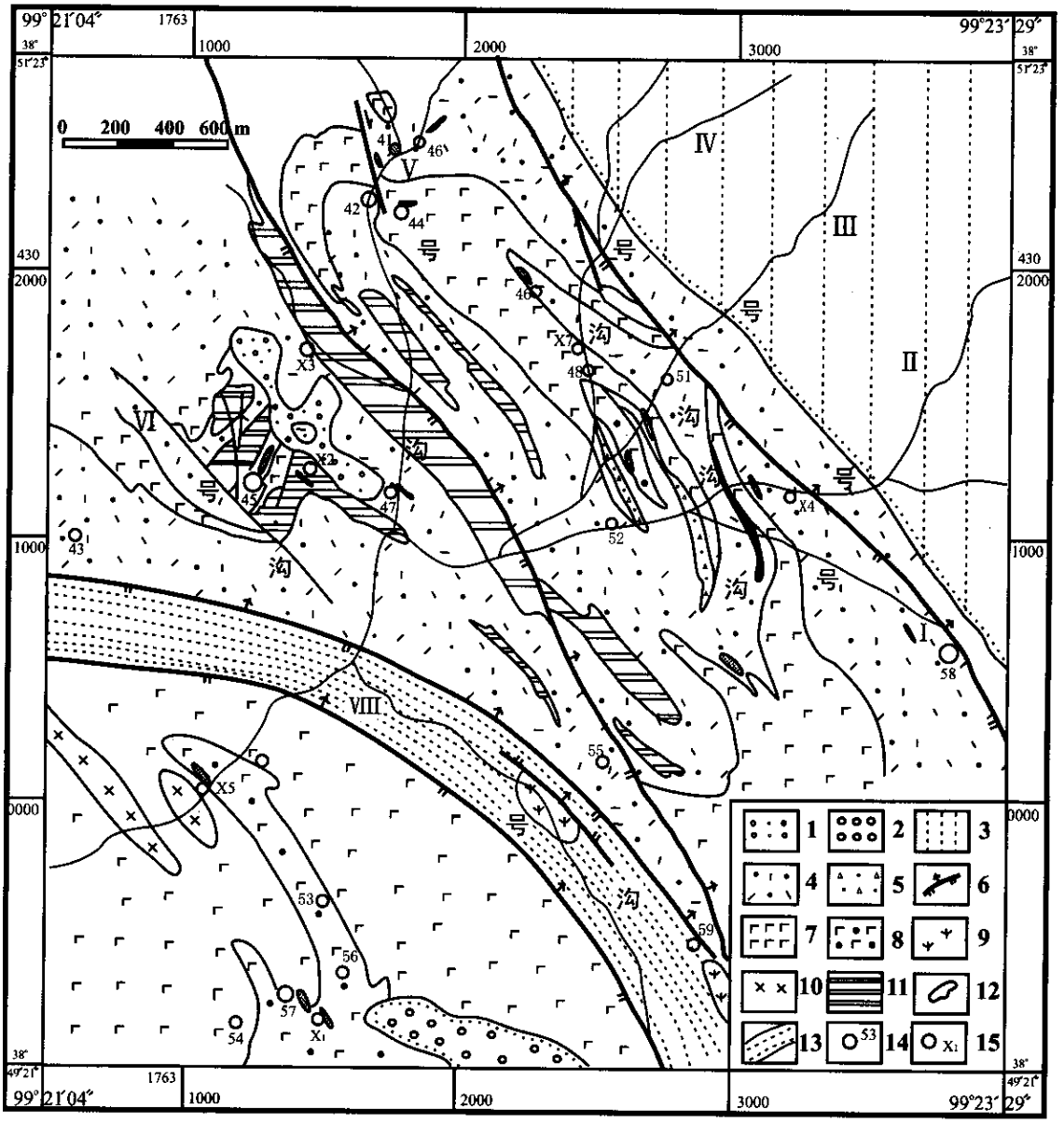

图 1 石居里铜矿区地质示意图

Fig. 1 Geological sketch map of Shijuli copper ore area

1. 第四纪残坡积；2. 泥盆纪砾岩；3. 志留纪砂砾岩；中—晚奥陶世；4. 凝灰质砂岩；5. 火山集块、角砾岩；6. 逆冲断层；7. 基性熔岩；8. 凝灰熔岩；9. 蛇纹岩；10. 辉长岩；11. 硅质岩；12. 碧玉岩；13. 韧性剪切带；14. 铜矿床(点)及编号；15. 1998 年新发现的铜矿(化)点

本区塞浦路斯型（即石居里式）块状硫化物矿床总体符合蘑菇状模型（图 2），蘑菇茎沿热液通道呈柱状下延。柱状矿体上部和中心主要为块状、角砾状矿石，下部和边部为网脉浸染状矿石，其铜含量远远高于锌含量，表现为典型的富铜矿石。蘑菇伞在海底喷口周围展开，主要为块状矿石，近喷口铜含量高于锌含量，远离喷口渐变为锌含量高于铜含量；伞翼之下为基性火山岩，伞上常覆盖碧玉岩，

成矿环境不稳定时，缺失碧玉岩。例如，石居里Ⅷ号沟矿床，为蘑菇状形态的一半；石居里Ⅵ号沟矿床，受后期褶皱改造变化较大，目前主要见富铜块状、角砾状矿石，已鉴别出其中角砾为基性火山岩；石居里Ⅴ号沟矿床目前仅发现呈薄板状的远热液喷口块状矿石，锌含量高于铜含量；九个泉矿床为重叠的伞翼矿体，矿柱已被剥蚀，矿上缺碧玉岩，直接被火山岩或沉积岩覆盖（李文渊等，2005）。

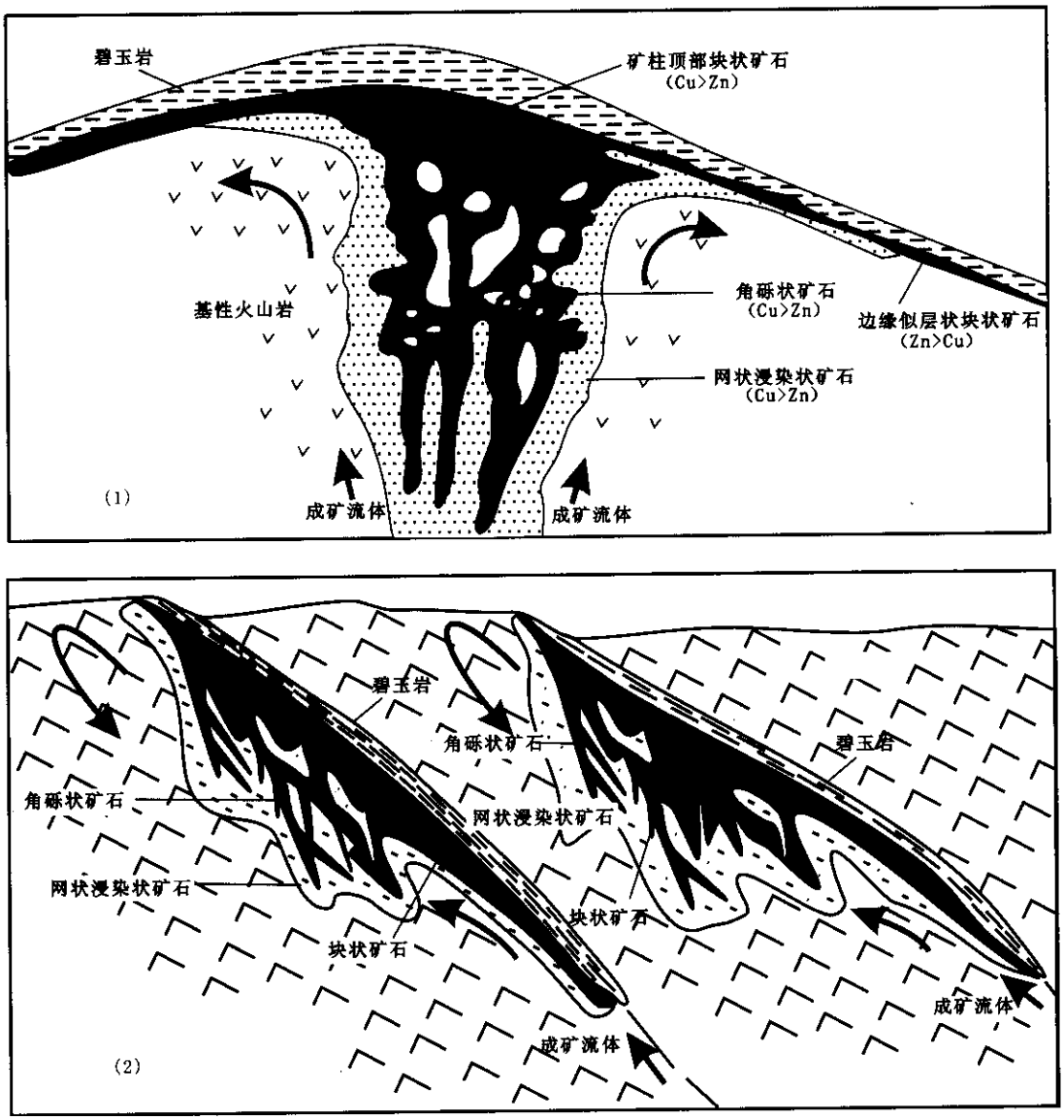

图 2　石居里式块状硫化物矿床地质模型（据李文渊，2005）

Fig. 2　Geological model of Shijuli massive sulfide deposit

3　地球物理特征

3.1　前人物性资料

该区大比例尺物探工作较少，甘肃省地质局物探队（1981）和西安地质矿产研究所（1998）分别做过物探工作，所测物性资料见表 1 和表 2。

由表 1 和表 2 可以看出，块状硫化物矿石极化率明显高于其他岩石，但缺乏碳质板岩的研究。在碳质板岩发育的石居里一带进行物探（电法）工作有一定的冒险性，如何区分深部隐伏的块状硫化物

矿石和碳质板岩，应是亟待解决的问题，本次物性工作对这一问题进行了研究。

表1 肃南县九个泉—大台子一带岩矿石物性参数统计表

Tab.1 The physical property parameter of rock and ore of Jiugequan and Dataizi in Sunan

岩矿石名称	标本块数	极化率(%) MAX	极化率(%) MIN	极化率(%) 平均
含铜黄铁矿、铜矿	28	60	7.5	48
凝灰质砂岩	28	6.92	0.1	2.1
细碧岩（细碧灰岩、英安凝灰岩）	117	2.61	0.32	1.3
硅质岩	17	26	0.37	5.82
次生石英岩	6	5.41	3.36	4.37
绿泥石石英片岩	16	6	0.8	2.78
凝灰质板岩、千枚岩	18	49.8	1.25	6.28
安山岩	5	3.4	0.96	2.16

注：据甘肃物探队，1981。

表2 石居里Ⅵ号沟岩矿石物性参数统计表

Tab.2 The physical property parameter of rock and ore of ravine 6 in Shijuli

岩矿石名	标本块数	平均电阻率(Ω·m)	平均极化率(%)
含碳凝灰质板岩	2	260	2.0
凝灰质板岩	2	520	2.6
凝灰质砂岩	1	1450	2.7
硅质岩	1	485	3.1
安山玄武岩	1	725	2.7
碧玉岩	2	2300	4.5
块状硫化物矿石	1	＜10	＞65
含硫化物碧玉岩	3	＞600	＞10
次生石英岩型浸染状硫化物矿石	1	＞550	＞65

注：据西安地质矿产研究所，1998。

3.2 本次物性工作

3.2.1 电性测量

岩石电性测量采用露头小四极及标本法进行。露头小四极电性测量采用小极距法，测量装置与野外实际测量情况相似，AB极距一般在3～4 m，MN极距一般在0.8～1.2 m，供电时间8s，延时0.2s。标本电性测量，使用两个盛水盆，按照《地球物理地球化学勘查标准》DZ/T 0070-93规范，将标本放置在两只盛水瓷盆之间的边缘处，标本与水之间用浸水棉花连接电流通路，供电电极置于水中，充电时间一分钟，测量电极夹于标本与浸水棉花之间来进行测量。在石居里Ⅴ沟，DK6、DK7两硐中小四极测量27处，涉及岩性9种，测量不同极距数据50组。标本物性测量26件，涉及碧玉岩、脉状矿石、细碧岩3种岩性。纳木桥工区做物性标本测量17件，涉及3种主要岩性，分别为稠密浸染状硫化物矿石、碧玉岩及细碧质枕状熔岩。

3.2.2 磁性测量

在石居里Ⅴ号沟选择磁场较平稳地点进行了岩石标本磁性测量。测量共采集各类标本131件，涉及岩性8类。采用MP-4质子磁力仪，以高斯第一位置进行测量。标本至探头中心距为15 cm，俯角45°左右。测量采用梯度方法，以线号表示标本编号，点号表示标本各个方向进行记录。

3.3 岩矿石电、磁性特征

3.3.1 电性特征

石居里Ⅴ号沟、纳木桥统计其各个岩性的视极化率及视电阻率结果如表3和表4所示。由表3、表4可看出：块状矿石视极化率为最高，视电阻率为最小，为明显低阻高极化显示；碳质板岩、网脉状矿石、含矿碧玉岩视极化率次之，视极化率6%～9%左右，视电阻率较高；其余硅质岩、碧玉岩、细碧岩、凝灰质砂岩为高阻低极化，视极化率一般在1%～3%。

表3 石居里Ⅴ号沟电物性（小四极）测量结果

Tab.3 Measure of electrical and physical property of ravine 5 in Shijuli

岩（矿）石名	视极化率η（%）			视电阻率ρ（Ω·m）		
	η平均	H_{min}	η_{max}	ρ平均	ρ_{min}	ρ_{max}
块状矿石	41.51	27.12	67.58	2.4	1.4	3.3
网脉状矿石	8.83	7.30	9.93	688.0	615.0	822.0
碧玉岩（含矿）	8.61	5.98	11.30	476.6	323.0	718.0
碧玉岩	3.25	2.25	5.05	340.8	298.3	380.6
碳质板岩	9.26	5.34	14.84	241.3	162.3	322.8
含碳硅质片岩	2.04	2.01	2.07	573.7	456.7	654.8
凝灰质砂岩	1.61	1.46	2.02	2151.6	1041.4	2526.0
硅质岩	3.41	2.12	4.23	1414.6	80.9	3649.0
细碧岩	1.14	1.12	1.16	2115.0	1597.0	2448.0

注：测试单位为陕西地勘局物化探队，2000年。

表 4　纳木桥标本物性测量统计表

Tab.4　Measure of physical property of Namuqiao

岩石名称	块　数	平均极化率（%）
稠密浸染状矿石	7	6.94
碧玉岩	6	1.42
细碧质熔岩	4	2.59

注：测定单位：陕西地勘局物化探队，2000 年。

由上两表（表 3、表 4）物性参数看出，该区实施激电测量，寻找铜硫化物矿产的物性前提是具备的。

3.3.2　磁性特征

磁物性在石居里 V 号沟进行，共测量数据 131 组。各个岩性磁化率统计结果如表 5 所示。

表 5　高磁标本物性测量成果表

Tab.5　Measure of physical property of high-precision magnetism specimen

岩（矿）石名称	标本块数	磁化率平均（$\times 4\pi SI\times 10^{-6}$）
凝灰质砂岩	16	1 006
硅质岩	17	22
细碧岩	18	2 071
碳质板岩	20	457
块状矿石	13	408
次生石英岩	13	306
碧玉岩	15	4 521
不纯碧玉岩	19	405

注：测定单位为陕西地勘局物化探队，2000 年。

由表 5 可以看出：碧玉岩磁化率为最高，变化值在 $1\ 030\times 4\pi\times 10^{-6}SI\sim 17\ 515\times 4\pi SI\times 10^{-6}SI$，平均值达 $4\ 521\times 4\pi\times 10^{-6}SI$，次为细碧岩、凝灰质砂岩，磁化率平均为 $1\ 000\times 4\pi\times 10^{-6}SI\sim 2\ 000\times 4\pi\times 10^{-6}SI$ 左右，其余碳质板岩、硅质岩、次生石英岩、不纯碧玉岩、矿石均为弱磁性，磁化率在几十至几百间变化。

由于矿体与碧玉岩紧密相关，且高纯度的碧玉岩更是比其他岩性见矿率高，故对于以碧玉岩为标志，以磁性寻找碧玉岩以达到间接找矿，物性前提是具备的。

4　结　论

（1）块状矿石视极化率为最高为 41.51%，视电阻率为最小为 2.4 Ω·m，为明显低阻高极化显示；碳质板岩、网脉状矿石、含矿碧玉岩视极化率次之，视极化率 6%～9%左右，视电阻率较高；其余硅质岩、碧玉岩、细碧岩、凝灰质砂岩为高阻低极化，视极化率一般在 1%～3%左右。由物性参数看出，该区实施激电测量，寻找铜硫化物矿产的物性前提是具备的。

（2）由于矿体与碧玉岩紧密相关，且高纯度的碧玉岩更是比其他岩性见矿率高，故对于以碧玉岩为标志，以磁性寻找碧玉岩以达到间接找矿，物性前提是具备的。

（3）利用激发极化法和高精度磁法在北祁连山石居里一带寻找塞浦路斯型铜矿床是可行的。

致谢：参加工作的还有王革成，权占荣，杜大彬，杜虎生等。

参考文献：

李文渊，杨合群，赵东宏，等. 北祁连发现塞浦路斯型铜矿床 [J]. 矿床地质，1999，18 (3).

杨合群，李文渊，赵东宏，等. 北祁连山石居里沟富铜矿床成矿特征 [J]. 地质与勘探，2000，36 (6)：20-22.

杨合群，宋忠宝，王兴安，等. 北祁连山中西段塞浦路斯型铜矿特征、成矿作用及找矿标志 [J]. 西北地质，2002，35 (4)：65-85.

宋叔和. 黄铁矿型铜和多金属矿床——世界范围内一些主要矿带和类型的对比研究趋势 [J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊. 1982，(3).

夏林圻，夏祖春，任有祥等，北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学 [M]. 北京：中国大地出版社，2001. 231-264.

李文渊，赵东宏，宋忠宝，等. 北祁连山塞浦路斯型铜矿特征及勘查方法——以雪泉铜（锌）矿床为例 [M]. 西安：陕西科学技术出版社，2005.

References：

Li Wenyuan, Yang Hequn, Zhao Donghong, et al. The Cyprus-type copper deposits were recently found in North Qilian mountains, China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18 (3).

Yang Hequn, Li Wenyuan, Zhao Donghong, et al. Metallogenic feature of shijunligou copper-rich ore deposits in northern Qilian mountains [J]. Geology and Prospecting. 2000, 36, No (6): 20-22.

Yang Hequn, Song Zhongbao, Wang Xingan, et al. The characteristics, mineralization and prospecting

indications of Cyprus-type copper deposits in mid-west section of the North Qilian mountains, China [J]. Northwestern Geology 2002, 35, No (4): 65-85.

Song Shuhe. A study of pyretic copper andpolymetallic mineral deposits (Cu, Pb, Zn): The correlation and research tendency of some of the worldwide mineral belts and ore deposit types [J]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits Chinese Academy of Geological Sciences. 1982, (3).

Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, et al. Tectonic, magmatic and metallogenetic dynamics in North Qilian Mountains [M]. Beijing: China Earth Press. 2001, (in Chinese With English abstract). 231-264.

Li Wenyuan, Zhao Donghong, Song Zhongbao, et al. The characteristics of the Cyprus-type copper deposits and the choice of exploration technique for these deposits in North Qilian mountains-Taking Xuequan copper (zinc) deposit as an example [M]. Shaanxi Science and Technology Press, Xi'an. 2005.

Physical Properties of Rocks and Ores Associated with Shijuli Cyprus-Type Copper-Rich Massive Sulfide Deposit in North Qilian Mountains

SONG Zhong-bao[1], YANG He-qun[1], XIE Chun-lin[1], LI Xin-ke[2], Li Ya-zhi, Wang Xing-an[1], LI Wen-ming[1], LI Chang-an[1]

(1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an* 710054, *China*; 2. *Geophysical and Geochemical Prospecting Team of Shaanxi Bureau of Geological and Mineral Resources, Zhouzhi Shaanxi* 710400, *China*)

Abstract: The geophysical exploration in the Shijuli area has determined that the massive ores have the highest apparent chargeability and the lowest apparent resistivity. The apparent chargeability of 6%～9% for carbon-bearing slates, reticulated ores and ore-bearing jaspilites is lower than massive ores, but the apparent resistivity is higher. The other rocks, such as silicalite, jaspilite, spilite, tuffaceous sandstone, show high resistivity and low chargeability (1%～3%) in nature. These geophysical parameters indicate that conditions are available in this areas for prospecting copper sulfide deposit using induced polarization method. Susceptibility of Jaspilite is the highest (1 030～17 515) and the mean is $4\,521\times4\pi\times10^{-6}$SI, the follows are spilite and tuffaceous sandstone, their mean susceptibility is $1\,000\times4\pi\times10^{-6}$SI～$2\,000\times4\pi\times10^{-6}$SI, the other ricks, such as anthrinoid slates, silicalite, secondary quartzites, impure jaspilites and ores, have weak magnetism, varied from several decades to hundreds. As the orebody is very close to jaspilites while the ores are found more often in the high-pure jaspilites than in other rocks. By its higher susceptibility, jaspilite is excellent indication to prospect copper deposit.

Key words: apparent resistivity; apparent resistivity; Cyprus-type massive sulfide deposit; Shijuli area; north Qilian Mountains