

文章编号:1009-3850(2015)03-0075-06

四川里伍铜矿床磁黄铁矿成因矿物学研究

陈道前¹, 孙传敏¹, 吴 道², 侯兰杰², 鲜海洋²

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要:里伍铜矿床是产于江浪穹窿的中型富铜矿床,其磁黄铁矿的成分和结构对矿床成因有重要的指示意义。基于对矿床地质特征的认识,采用偏光显微镜、扫描电镜能谱分析、X射线衍射等方法,对主矿体内不同构造类型矿石中的磁黄铁矿的化学成分和结构进行了分析。结果表明,矿体内部只产出六方磁黄铁矿,Fe原子含量百分比为48.63%~47.99%,其成矿温度高于304℃;矿体边部同时存在六方和单斜磁黄铁矿,Fe原子百分比为45.97%~47.54%,成矿温度迅速降低至254℃以下。结合磁黄铁矿标型特征和矿床地质特征,推断里伍铜矿床是在原始矿胚发生变形变质活化的基础上,经历了燕山期中高温热液叠加改造而富集成矿。

关键词:成因矿物学;磁黄铁矿;里伍铜矿床;四川

中图分类号:P578.2⁺4

文献标识码:A

里伍铜矿床位于四川省甘孜藏族自治州九龙县魁多乡、烟袋乡,自20世纪60~70年代勘查开采至今已有近50年历史,是西南地区为数不多的中型富铜锌多金属矿床。里伍、黑牛洞、挖金沟、上海底等矿床均赋存于江浪变质穹窿的里伍岩群中。前人曾对里伍铜矿床地质特征^[1-3]、地球化学特征^[4,5]和成矿规律^[1,6-8]进行了研究,但因其含矿岩系与海相火山岩有关,且变形、变质作用复杂强烈,又遭受燕山期花岗岩浆热液作用,成矿过程具有多期次、多成因的特点,矿床成因一直存在争议。

通过前期矿区现场勘查和矿石组构特征的镜下研究,发现黄铜矿和磁黄铁矿是里伍铜矿床产出的主要金属矿物,常见二者共生和热液交代的现象。磁黄铁矿的标型特征可反映丰富的成矿信息^[9-12],为矿床成因提供有力依据。本文以磁黄铁矿为研究对象,结合矿床地质特征,详细分析其成分和晶体结构,探讨里伍铜矿床在热液叠加改造阶段的成矿化学环境和温度,明晰燕山期成矿的就位

模式,这对于指导江浪铜矿田内其他矿床(点)的勘查工作有重要意义。

1 矿区地质概况

江浪变质穹窿位于扬子地台西缘,康滇地轴西侧,木里-锦屏山弧形推覆构造带内缘,环绕分布有里伍、黑牛洞、挖金沟、上海底等铜矿床(图1)。里伍铜矿位于其南东翼近轴部的倾没部位,是穹窿中规模最大的铜矿体。

穹窿构造是区域内重要的控矿构造,江浪穹窿经历多期变形、变质作用,原始层理已经被多次置换,地层系统内多次杂序重复和无序堆垛,并受印支期和燕山期双向收缩^[1,2]。核部有燕山期酸性花岗岩体侵入,穹窿地层中发育有环状剥离断裂和多条韧性剪切带,形成有利的导矿和容矿空间。

矿区内出露地层从穹窿核部向外依次为前震旦系里伍岩群(Pt₂L.)、奥陶系江浪岩组(Oj.)、下志留统甲坝岩组(S_{1j}.)、二叠系乌拉溪岩组(Pw.)

收稿日期:2015-06-06; 改回日期:2015-07-08

作者简介:陈道前(1965-),男,在读博士生,副教授,硕士。专业:地质学、矿物学。E-mail:lwty2009@163.com

资助项目:四川省九龙县里伍铜矿接替资源勘查(200851022)

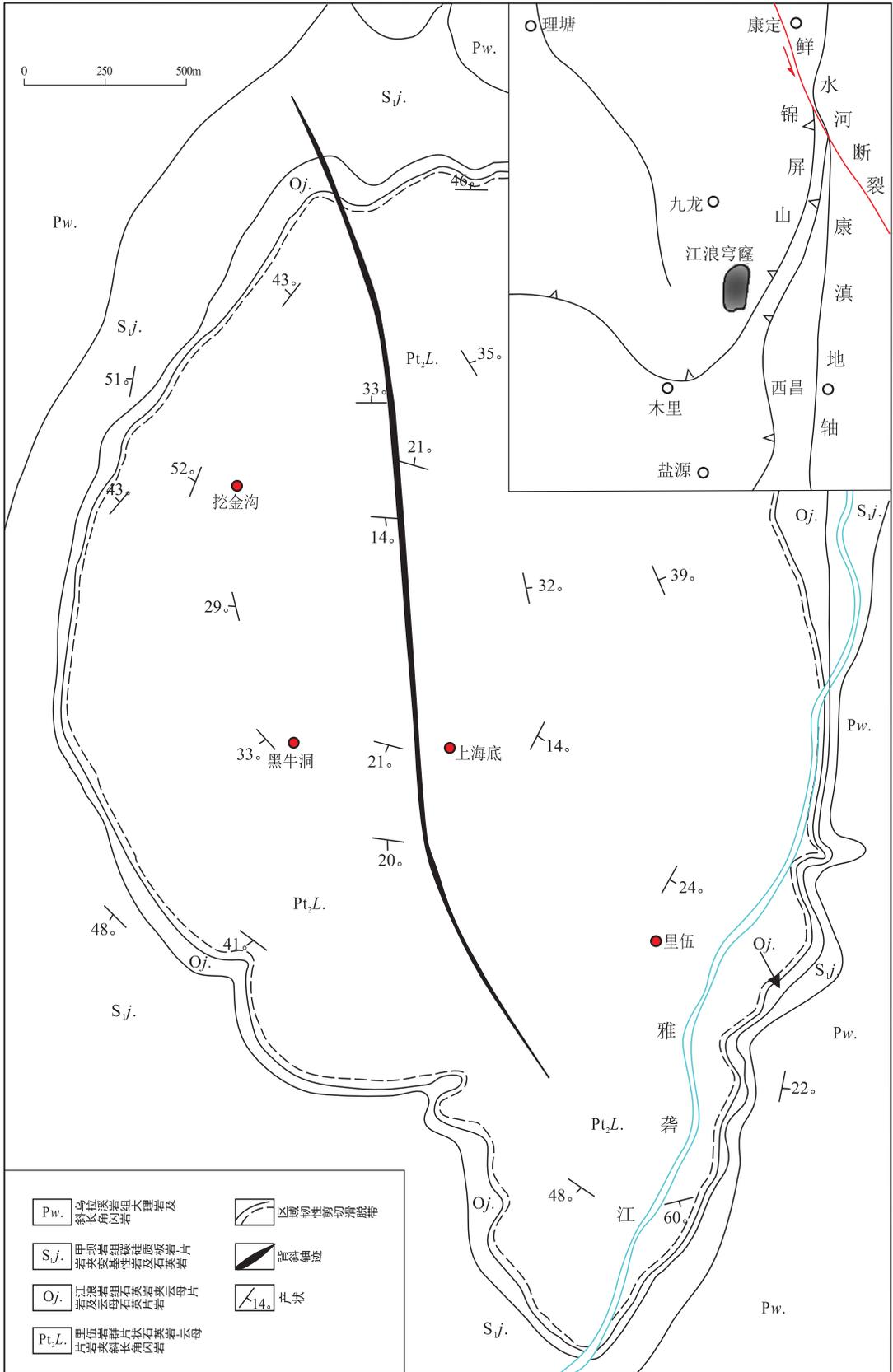


图 1 江浪变质核杂岩穹窿地质图

Fig.1 Simplified geological map of the Jianglang metamorphic core complex dome in Jiulong, western Sichuan

和三叠系西康群板岩带(TX)^[1-2]。里伍铜矿床主要赋存于中元古界里伍岩群,该岩群是一套变质核杂岩,岩性以云母片岩、云母石英片岩、片状石英岩为主,夹斜长角闪岩及变基性岩。原岩主要为一套含火山凝灰质的砂、泥质浊流沉积岩。富铜矿体产于含矿蚀变带内,其空间分布特征与矿化蚀变带关系密切,矿体在蚀变带中成群成带产出,矿体形态以扁豆状、似层状、透镜状为主,在垂向上呈交错重

叠或平行重叠。

里伍铜矿床的矿石构造类型主要有致密块状、角砾状、条带状、浸染状。矿石中主要金属矿物有黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿,致密块状矿石内常出现石英和云母,而条带状矿石中多见阳起石。图2是里伍铜矿床中矿石矿物的显微照片,磁黄铁矿沿边缘交代早期黄铜矿的现象较为普遍(图2A),条带状矿石中常见金属硫化物被晚期阳起石穿插(图2B)。

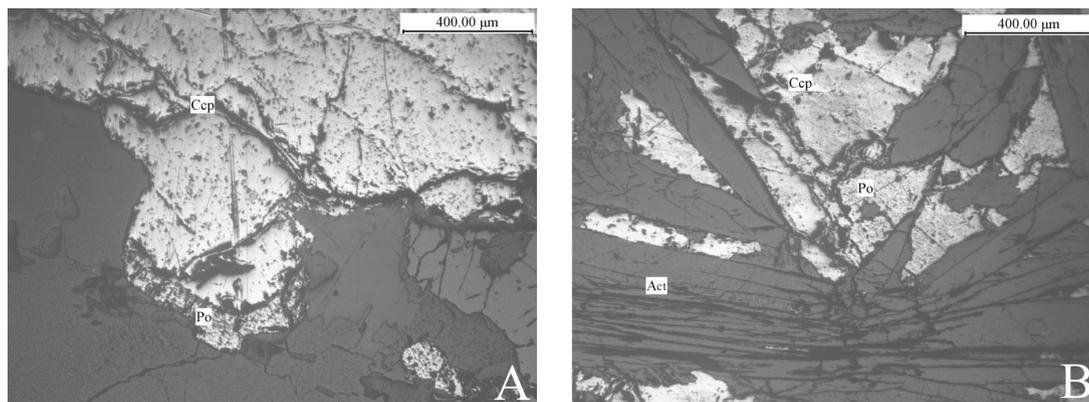


图2 两种典型矿石显微照片
Ccp. 黄铜矿;Po. 磁黄铁矿;Act. 阳起石

Fig. 2 Photomicrographs of the representative minerals from the Liwu copper deposit

2 实验方法

挑选磁黄铁矿单矿物样品进行X射线衍射分析,在扫描电子显微镜下对矿石光片进行观察,并采用X射线能谱探针成分分析,均在西南科技大学分析测试中心完成。X射线衍射采用荷兰PANalytical公司X'Pert PRO型X射线衍射仪,Cu靶,管电压40kV,管流40mA,狭缝系统:DS1/2°,SS0.04rad,AAS5.5mm,连续扫描;成分分析在场发射扫描电镜下进行,采用Oxford IE450X-Max80能谱仪(EDS)对磁黄铁矿的化学成分进行测试。

3 磁黄铁矿标型特征

不同构造类型矿石中磁黄铁矿的化学组成详见表1。LW1~4样品来自矿体内部的致密块状矿石,Fe原子百分比为48.63%~47.99%;LW5~10样品是矿体上、下盘的条带状矿石,Fe原子百分比为45.97%~47.54%。可以发现,致密块状矿石中磁黄铁矿Fe含量略高于条带状矿石。由不同构造类型矿石中磁黄铁矿化学组成及晶体化学式(表1)可知,条带状矿石中磁黄铁矿缺席构造程度更高。根据其异种的化学成分标型特征^[13],致密块状矿石

中磁黄铁矿均属六方晶系,而条带状矿石中同时存在单斜和六方磁黄铁矿。

条带状矿石中磁黄铁矿单矿物的X射线衍射图谱如图3所示。由图可见,磁黄铁矿峰形尖锐,与编号为29-0726的JCPDS卡片高度吻合,200、2011、220、2033、4022均为六方磁黄铁矿的衍射峰。对 $d = 2.07 \text{ \AA}$ ($2\theta = 43.6^\circ$)处的衍射峰进行局部放大,发现其并非单一的衍射峰。对曲线进行分峰拟合,得到单斜磁黄铁矿(mpo)衍射强度近于相等的202和 $20\bar{2}$ 两个峰^[14-15],其中202(mpo)峰与六方磁黄铁矿102(hpo)峰叠加,故其强度明显大于I。

随两相磁黄铁矿组成比例不同,在102(hpo)峰和202(mpo)峰叠加处的X射线图谱发生连续规律的变化。根据Arnold测定的X射线衍射强度系数与成分的线性关系,可定量分析磁黄铁矿的两相组成。以102(hpo)峰和202(mpo)峰的衍射强度值计算强度系数($I_{H102}/I_{H102} + I_{M202}$),纯六方相的理想比值为1.0,纯单斜相理想比值则为0.5,计算结果见表2。

将X射线衍射的强度系数值投影到关系直线上,得到六方磁黄铁矿含量(图4)。由图可见,条带状矿石的样品hpo重量百分比主要集中在20%~

表1 不同构造类型矿石中磁黄铁矿化学组成及晶体化学式(%)

Table 1 Chemical compositions (%) and chemical formulas of the crystals for pyrrhotite in the ores from the Liwu copper deposit

样品编号	致密块状矿石				条带状矿石					
	LW1	LW2	LW3	LW4	LW5	LW6	LW7	LW8	LW9	LW10
Fe	48.63	47.99	47.62	47.98	45.97	47.44	46.89	47.54	47.30	47.50
S	51.37	52.01	52.38	52.02	54.03	52.56	53.11	52.46	52.70	52.50
化学式	$Fe_{1-x}S_1$ ($x=0.0534 \sim 0.0909$)				$Fe_{1-x}S_1$ ($x=0.0938 \sim 0.1492$)					

表2 两相磁黄铁矿的X射线衍射强度系数

Table 2 X-ray diffraction intensity coefficients for two-phase pyrrhotite from the Liwu copper deposit

样品编号	LW 1-1	LW 1-2	LW 2-1	LW 2-2	LW 3-1	LW 3-2
$\frac{I_{1102}}{I_{1102} + I_{M202}}$	0.5853	0.5846	0.6002	0.5751	0.6157	0.6730

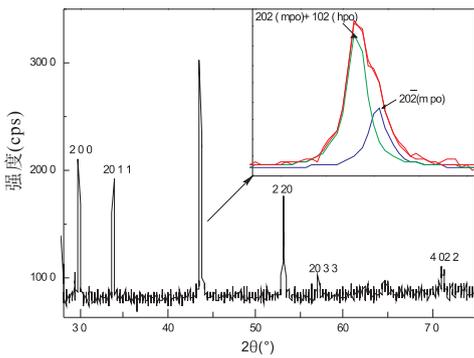


图3 条带状矿石磁黄铁矿X射线粉晶衍射曲线

Fig. 3 X-ray diffraction charts for banded pyrrhotite from the Liwu copper deposit

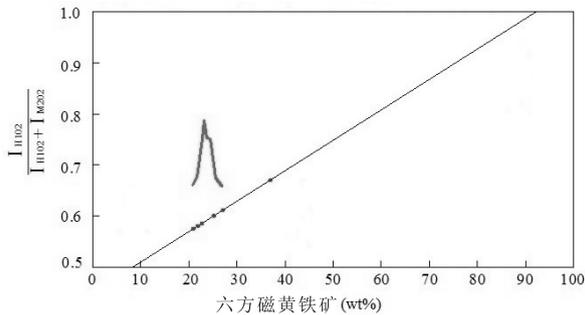
图4 X射线衍射强度系数与六方磁黄铁矿含量线性关系图^[14]

Fig. 4 Plot showing the relationship between the X-ray diffraction intensity coefficients and hexagonal pyrrhotite contents (after Arnold, 1966)

30%, 这表明条带状矿石中单斜磁黄铁矿占主要部分, 对应的峰形曲线表现为 102 (hpo) + 202 (mpo) 峰稍高于 (mpo) 峰, 与样品实际 X 射线衍射图谱曲

线一致。

4 讨论

在里伍铜矿床成矿过程中, 矿体不同部位的物理化学条件存在差异, 其矿石构造类型不同, 磁黄铁矿的化学成分和晶体结构也有差别, 这与成矿化学环境、温度密切相关。

穹窿核部受花岗岩体加热^[16], 中高温含矿热液运移至退色蚀变带处, 不断从围岩内富铁铝硅酸盐交代萃取 Fe 质。补充的 Fe 质与热液中因磁黄铁矿、黄铜矿出溶多余的 S 络合, 这为大量磁黄铁矿的形成提供了充裕的化学环境。由戴婕等^[17]测试的里伍矿区中黄铜矿的数据分析得到 Fe/Cu > 1 (原子百分比), 这也表明热液中 Fe 质相对充裕。

韧性剪切带是江浪变质核杂岩体在成矿过程中形成的构造裂隙, 是里伍铜矿床主要的控矿构造和容矿空间^[1-2,5,7]。含矿热液运移至这一低压空间, 热液中的 H₂S、CO₂ 等挥发分释放, 成矿物质开始沉淀, 形成黄铜矿、磁黄铁矿等金属矿物。主要金属矿物结晶特点表现为: 黄铜矿从高温到低温均可出现, 而磁黄铁矿在高温和低温下生成两个异种^[15]。这期间, 高温热液流体与围岩发生热传递, 在矿体边部经历了快速降温的过程, 而矿体内部则处于缓慢降温的状态。由于温度差异, 磁黄铁矿在矿体不同部位的产出特征有明显区别。参照 Arnold^[18]的 Fe-S 体系矿物相平衡简图(图 5), 矿体内部的致密块状矿石中只生成有六方磁黄铁矿, 这表明成矿温度处于 304℃ 以上, 且下降速率较为缓慢; 而矿体上、下盘形成的条带状矿石中同时存在

六方磁黄铁矿和单斜磁黄铁矿,表明矿体边部温度迅速从高温降至254℃以下,矿体内外温差至少大于50℃。

黑牛洞矿床和里伍矿床分别位于江浪穹窿的西侧和南东翼,均产于里伍岩群堆垛层中层带^[1],二者的矿床地质特征总体上较为相似,都具有热液矿床的特点,但其成矿温度存在差异。磁黄铁矿在穹窿内的产出特征表现为:黑牛洞矿床内磁黄铁矿均为六方晶系^[10],里伍矿床有单斜磁黄铁矿出现。而燕山期酸性花岗岩体侵入部位处于穹窿核部,从矿床在穹窿中的赋存位置与核部热源的空间距离来看,黑牛洞矿床更靠近核部热源,这表明铜矿床在江浪铜矿田内具有一定的分带性。分带样式可能表现为环状分带,这与成矿温度密切相关。需要进行类似福建丁家山铅锌矿区磁黄铁矿的矿物场填图工作^[12],补充上海底、挖金沟和笋叶林相关数据。

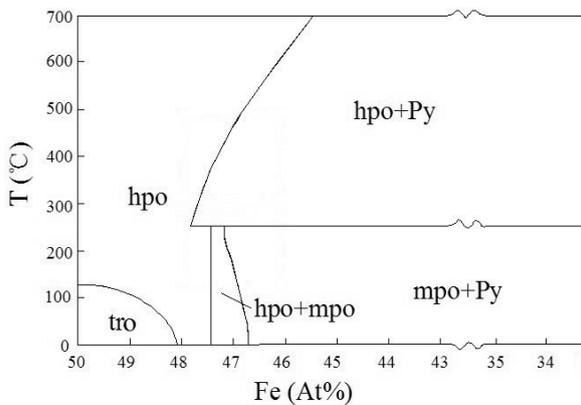


图5 Fe-S体系矿物相平衡简图^[14]

hpo. 六方磁黄铁矿, mpo. 单斜磁黄铁矿, Py. 黄铁矿, tro. 陨硫铁

Fig. 5 Phase equilibrium diagram for the Fe-S system (after Arnold, 1962)

5 结论

成因矿物学研究表明磁黄铁矿与矿石构造类型有关。致密块状矿石中磁黄铁矿属六方晶系, Fe原子含量百分比为48.63%~47.99%;条带状矿石中主要为单斜磁黄铁矿,含有少量六方磁黄铁矿, Fe原子百分比为45.97%~47.54%。

磁黄铁矿的标型特征指示,在矿床燕山期成矿过程中,韧性剪切带附近的围岩遭受热液交代作用,向热液补充了Fe质,支持磁黄铁矿形成的化学环境。在矿体内部的成矿温度高于304℃,处于较为稳定的状态。矿体边部则迅速从高温降低至254℃以下。

综合矿床地质特征和磁黄铁矿标型特征,推断里伍铜矿床在原始矿胚发生变质活化的基础上,经历燕山期热液叠加改造富集成矿,这与相邻的黑牛洞矿床存在成矿温度的差异,矿床(点)在江浪铜矿田的分布可能具有分带性。

参考文献:

- [1] 宋鸿林. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩体变形变质作用及李伍式铜矿成矿模式[R]. 中国地质大学, 四川地质局 404队, 1995.
- [2] 傅昭仁, 宋鸿林. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩结构及对成矿的控制[J]. 地质学报, 1997, 71(2): 113-122.
- [3] 唐高林, 王发清, 寇林林. 里伍铜矿床地质特征及找矿前景[J]. 四川有色金属, 2007, 4: 21-25.
- [4] 李同柱, 冯孝良, 张惠华, 等. 四川里伍铜矿含矿岩系地球化学特征及成因分析[J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 921-930.
- [5] 姚鹏, 汪名杰, 李建忠, 等. 里伍式富铜矿床同位素示踪及其成矿地质意义[J]. 地球学报, 2008, 29(6): 691-696.
- [6] 邹光富, 汪名杰, 李建忠, 等. 四川九龙县里伍铜矿床地质特征, 成矿规律与找矿方向[A]. 中国矿物岩石地球化学学会第11届学术年会论文集[C]. 2007.
- [7] 姚家栋. 李伍式铜矿床成矿控制条件与找矿前景[J]. 四川地质学报, 1991, 11(1): 29-36.
- [8] 杜亚军, 田竞亚. 李伍铜矿床控矿构造地质特征及演化模式探讨[J]. 四川地质学报, 1996, 16(3): 213-218.
- [9] 丁奎首, 秦克章, 许英霞, 等. 东天山主要铜镍矿床中磁黄铁矿的矿物标型特征及其成矿意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(1): 109-119.
- [10] 祝向平, 汪名杰, 姚鹏, 等. 四川黑牛洞铜矿床磁黄铁矿的标型特征及成矿指示意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 562-568.
- [11] 郭维民, 陆建军, 章荣清, 等. 安徽铜陵冬瓜山矿床中磁黄铁矿矿石结构特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 405-414.
- [12] 张术根, 石得风, 韩世礼, 等. 福建丁家山铅锌矿区磁黄铁矿成因矿物学特征研究[J]. 矿物岩石, 2011, 31(3): 11-17.
- [13] 徐国凤, 邵洁涟. 黄铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质论评, 1980, 26(6): 541-546.
- [14] ARNOLD R. Mixtures of hexagonal and monoclinic pyrrhotite and measurement of metal content of pyrrhotite by x-ray diffraction [J]. American Mineralogist, 1966, 51(7): 1221.
- [15] 黄民智, 唐绍华, 黄许陈, 等. 铜陵地区几个铜矿床中磁黄铁矿的成因和演化[J]. 地球学报, 1983, 1: 49-70.
- [16] 陈敏华, 丁俊, 陈道前. 四川省九龙县里伍铜田成矿物质来源探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(1): 89-93.
- [17] 戴婕, 孙传敏, 丁俊, 冯孝良. 四川九龙里伍铜矿主要矿石矿物扫描电镜能谱分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(4): 105-110.
- [18] ARNOLD R. Equilibrium relations between pyrrhotite and pyrite from 325 °C to 743 °C [J]. Economic Geology, 1962, 57(1): 72-90.

Genetic mineralogy of pyrrhotite from the Liwu copper deposit in western Sichuan

CHEN Dao-qian¹, SUN Chuan-min¹, WU Xiao², HOU Lan-jie², XIAN Hai-yang²

(1. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*; 2. *School of Environments and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China*)

Abstract: The Liwu copper deposit is a medium-sized copper-rich copper deposit hosted in the Jianglang metamorphic core complex dome in Jiulong, western Sichuan. The present paper deals with the chemical compositions and structural types of pyrrhotite from the Liwu copper deposit based on the microscopic examination, energy spectrum analysis and X-ray diffractational analysis. The analytical results show that there occurs only hexagonal pyrrhotite in the inner part of the copper deposit, with the Fe atomic percentages ranging between 48.63% and 47.99% and metallogenic temperatures higher than 304°C. On the contrary, both the hexagonal and monoclinic pyrrhotite are observed in the outer part of the copper deposit, with the Fe atomic percentages ranging between 45.97% and 47.54% and metallogenic temperatures lower than 254°C. It is inferred from the typomorphic characteristics of pyrrhotite and geological characteristics of the copper deposit that the Liwu copper deposit resulted from the activation caused by deformation and metamorphism in original source beds, and superimposed reworking of moderate-to high-temperature hydrothermal solutions during the Yanshanian.

Key words: genetic mineralogy; pyrrhotite; Liwu copper deposit; western Sichuan