

文章编号:1009-3850(2011)01-0089-05

四川省九龙县里伍铜田成矿物质来源探讨

陈敏华¹, 丁俊¹, 陈道前²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 四川里伍铜业股份有限公司, 四川 甘孜 626200)

摘要:本文通过氢氧同位素、硫同位素及微量元素的测试分析,结合矿田地质背景对成矿物质来源进行了分析,认为里伍铜矿田成矿物质主要与燕山期“S”型花岗岩的侵入作用有关。在岩浆侵入过程中,由于热作用的驱动,岩浆热液携带部分成矿物质,沿一定的通道上升或运移,并不断与围岩发生物质的带出和带入,成矿流体是以岩浆热液为主的多组份的热液体系。

关键词:里伍铜矿田; 氢氧同位素; 硫同位素; 微量元素; 含矿热液; 成矿物质来源

中图分类号:P611.1⁺1

文献标识码:A

1 区域地质背景

四川龙门山至木里地区发育向南东逆冲的龙门山前陆逆冲推覆带和向南逆冲的木里-锦屏山推覆构造带。推覆构造带的东南部为扬子地台,其西北部为松潘-甘孜造山带的以三叠系西康群为主体的冒地槽斜褶皱带。沿这些推覆带后缘,自北向南断续分布有恰斯、瓦厂、长枪、江浪、踏卡、三亚等一系列以元古界-古生界为主体的变质核杂岩体。这些变质核杂岩一般呈等轴状近圆形或椭圆形分布,轴向NNW-SN向,面积几十平方千米到几百平方千米,呈串珠状分布在推覆带上。变质核杂岩带的成穹作用主要发生于印支期-燕山期的陆内汇聚阶段,部分穹隆构造中侵入有燕山期“S”型花岗岩,与铜、金、多金属成矿关系密切,为重要的区域控矿构造^[1~3]。本文所论述的里伍铜矿田就是位于其中的江浪变质核杂岩体中(图1)。

2 矿田地质特征

在江浪变质核杂岩体中,发育了一系列受环状穹隆滑脱正断层控制的铜(锌)矿床(点),主要有里伍铜矿床及其外围的黑牛洞、挖金沟、中咀、柏香

林、笋叶林、上海底、白岩子等(图2)。有学者称其为江浪铜矿田^[4]。

江浪变质核杂岩体从内向外、由老至新依次出露中元古界里伍岩群(Pt_2L)、志留系甲坝组、二叠系乌拉溪组。里伍岩群(Pt_2L)构成核杂岩的主体,是区内主要赋矿岩系。里伍岩群原岩为一套陆源碎屑岩系夹少量火山岩和基性侵入岩,经区域变质作用,形成一套以灰色石英岩及二云片岩、二云石英片岩为主,夹变基性岩、中碱性次火山岩的岩石组合。按岩性将其细分为上、中、下三个岩性段,上段又分为上下两个部分。志留系甲坝组以深灰色、灰黑色硅质板岩、千枚岩为主,夹灰色云母石英片岩、石英岩和少量灰色变基性(火山)岩。三叠系乌拉溪组岩性为变质基性火山岩、大理岩夹次火山岩及碳硅质板岩。

江浪变质核杂岩体长轴走向 342° ,长度17.5km,宽10km,呈穹隆状。核部地层倾角较为平缓,为 $11^\circ \sim 30^\circ$,东翼 $20^\circ \sim 40^\circ$ 、西翼 $20^\circ \sim 50^\circ$,东西两翼基本对称。核杂岩体内部发育了一系列的顺层滑脱带,其中以分割里伍岩群中、上段的滑脱带最具意义,被称之为主滑脱带,矿田中大部分矿床点围绕其呈环带状分布(图2)。

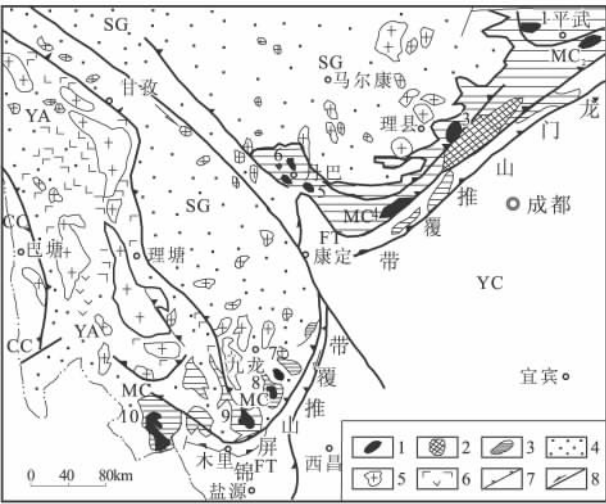


图1 里伍铜矿田区域地质略图 (据颜丹平等,1997)

1. 变质核杂岩; 2. 彭灌杂岩; 3. 震旦系—古生界(褶皱层); 4. 三叠系西康群; 5. 花岗岩体; 6. 三叠纪岛弧钙碱性火山岩; 7. 逆冲推覆断层; 8. 走滑断层。CC. 碰撞结合带; YA. 义敦岛弧带; SG. 松潘—甘孜造山带; MC. 变质核杂岩体; FT. 前陆逆冲推覆带; YC. 扬子地台。变质核杂岩名称: a. 摩天岭; b. 桥子顶; c. 雪隆包; d. 雅斯德; e. 格宗; f. 公差; g. 踏卡 h. 江浪; i. 长枪; j. 恰斯

Fig.1 Schematic regional geological map of the Liwu copper orefield (after Yan Danping ,1997)

1 = metamorphic core complex; 2 = Pengxian-Guanxian complex; 3 = Sinian-Palaeozoic folded strata; 4 = Triassic Xikang Group; 5 = granite; 6 = Triassic island-arc calc-alkaline volcanic rocks; 7 = overthrust fault; 8 = strike-slip fault. CC = collision suture zone; YA = Yidun island-arc zone; SG = Songpan-Garze orogenic zone; MC = metamorphic core complex; FT = foreland overthrust zone; YC = Yangtze platform. Metamorphic core complex: a = Motianling; b = Qiaoziding; c = Xuelongbao; d = Yaside; e = Gezong; f = Gongchai; g = Taka; h = Jianglang; i = Changqiang; j = Qiasi

里伍岩群中段及志留系中夹有变质基性次火山岩和变质中碱性次火山岩,其呈条带状、透镜体产出。穹隆北东翼有似斑状黑云母花岗岩体侵入,面积约34km²,K-Ar法测定年龄为131±5Ma,属晚燕山期。

矿体的产出受滑脱带控制,矿体形态主要为似层状和透镜状。矿体在垂向上平行重叠,纵横向上互相超覆,常呈雁行排列的透镜体群。

矿石构造主要为致密块状构造和浸染状构造;矿石结构以它形晶粒结构为主,常见的有自形—半自形晶粒结构、变晶结构、溶蚀结构、交代残余结构及固溶体分解结构等。

矿石的主要金属矿物为磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿,次要金属矿物为有方铅矿、黄铁矿、钛铁矿、



图2 里伍铜矿田地质简图

1. 二叠系乌拉溪组; 2. 志留系甲坝组; 3. 里伍群上段; 4. 里伍群中段; 5. 里伍群下段; 6. 燕山期花岗岩脉; 7. 实测、推测滑脱正断层; 8. 实测、推测地质界线; 9. 铜矿床(点)

Fig.2 Schematic geological map of the Liwu copper orefield

1 = Permian Wulaxi Formation; 2 = Silurian Jiaba Formation; 3 = upper member of the Liwu Group; 4 = middle member of the Liwu Group; 5 = lower member of the Liwu Group; 6 = Yanshanian granite vein; 7 = measured and/or inferred decollement fault; 8 = measured and/or inferred geological boundary; 9 = ore deposit (ore spot)

方黄铜矿;主要的脉石矿物为石英、绢云母、白云母、黑云母、绿泥石、长石(斜长石、钾长石及微斜长石)等。

与矿化有关的热液蚀变主要为黑云母化、绢(白)云母化、硅化,次为绿泥石化、斜长石化、石榴石化、电气石化及碳酸盐化等。蚀变作用经历了早期黑云母化、斜长石化,中期电气石化、硅化到晚期绢云母化和绿泥石化的演变,成矿与中晚期蚀变作用关系密切。

3 矿床地球化学特征

3.1 氢、氧同位素特征

为了研究里伍铜矿田的成矿流体来源,作者在黑牛洞、中咀、挖金沟矿区,采集有代表性的矿石样品 8 件(稠密浸染状矿石和块状矿石各 4 件),对其中的石英包裹体中水的氢、氧同位素组成进行了测试分析。测试分析结果见表 1。

表 1 里伍铜矿田石英包裹体氢、氧同位素组成
Table 1 Hydrogen and oxygen isotopic compositions in the ore-bearing quartz inclusions from the Liwu copper orefield

序号	采集地	测试矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	备注
1	黑牛洞	石英	9.3	-98	所测石英
2	黑牛洞	石英	10.9	-93	均为矿石
3	黑牛洞	石英	10.8	-87	中的石英
4	黑牛洞	石英	11.4	-101	
5	黑牛洞	石英	10.7	-81	
6	中咀	石英	11.7	-96	
7	中咀	石英	13.4	-94	
8	挖金沟	石英	9.8	-87	

从表 1 含矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 值变化范围(表 2)可以看出,在含矿石英包裹体中, $\delta^{18}\text{O} = 9.3\text{‰} \sim 13.4\text{‰}$ 均为正值,略高于原生岩浆水流体($\delta^{18}\text{O} = 6\text{‰} \sim 9\text{‰}$),包含于混合岩浆水流体的范围内; $\delta^{18}\text{O}$ 的变化范围较窄,为 4.1‰ ,与岩浆水的变化范围相似; $\delta\text{D} = -81\text{‰} \sim -101\text{‰}$ 均为负值,大幅度偏离了标准平均海水(SMOW)和原生水溶液的同位素组成,与岩浆水或变质水的 δD 较为接近,其变化范围较窄,为 14‰ ,更接近岩浆水的 δD 值特征。

在 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图(图 3)上,各成分点投影点比较集中,说明本次采样和测试分析的成果是可靠的。投影点没有落在标准的岩浆水热液和变质水热液的投影区内,而是落在变质水热液的投影区下方岩浆水热液投影区的右侧。

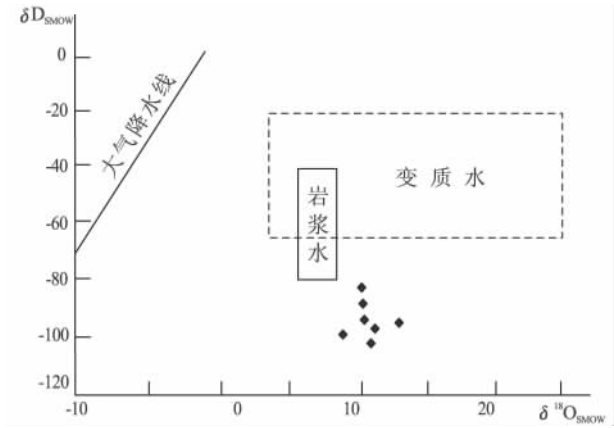


图 3 里伍铜矿田 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图
Fig. 3 $\delta^{18}\text{O}$ - δD diagram of the Liwu copper orefield

3.2 硅同位素特征

在里伍铜矿田不同的矿石类型以及含矿岩系中,广泛分布着石英和硅酸盐矿物。姚鹏(2008)对里伍铜矿外围黑牛洞铜矿床不同矿石类型的石英及其相关岩石的硅同位素组成进行了分析,结果表明,块状铜矿石中石英的 $\delta^{30}\text{Si} \text{‰}$ 值与含矿变质岩系中的斜长角闪岩的 $\delta^{30}\text{Si} \text{‰}$ 值一致,均为 -0.2 ,与矿体围岩中的石英脉中的石英(-0.3)相近,但与江浪变质穹隆核部的燕山期花岗岩(0.0)有所不同。这可能暗示了矿床中的大部分硅质及铅元素并非直接来源于燕山期花岗岩,而是在含矿流体的形成、迁移沉淀过程中,以就地取材的方式,将含矿变质岩系特别是斜长角闪岩中的硅带入了矿石中。

3.3 硫同位素特征

笔者采取了黑牛洞、中咀和挖金沟三个矿区典型矿石 8 件(黄铜矿 7 件,闪锌矿 1 件)在国土资源部同位素实验室对硫同位素进行了测试,分析结果见表 2。

从表 2 中可见,黄铜矿 $\delta^{34}\text{S} = +4.4\text{‰} \sim +5.9\text{‰}$ 均为正值,说明富集重硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 1.5‰ ,离差较小,值域比较窄。闪锌矿 $\delta^{34}\text{S} = +7.3\text{‰}$,与黄铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 差别不大。

表 2 里伍铜矿田硫同位素分析结果
Table 2 Sulfur isotopic analyses for the Liwu copper orefield

样品编号	样品名称	$\delta^{34}\text{S} \text{ V-CDT}/\text{‰}$
HNPDP8—9	浸染状黄铜矿	5.6
HNPDP8—10	块状黄铜矿	4.6
HNPDP8—11	脉状黄铜矿	5
HNPDP8—13	条带网脉状黄铜矿	4.4
ZZ—1	条带状黄铜矿	4.8
ZZ—2	石英脉型黄铜矿	5
WJG—1	浸染状闪锌矿	7.3
WJG—8	网脉状黄铜矿	5.9

注:本样品由由国土资源部同位素实验室测试,采用方法为 V_2O_5 法,分析仪器采用 MAT251EM 质谱仪,分析精密度: $\pm 0.2\text{‰}$ 。

依据本次硫同位素分析结果,结合前人研究成果(姚家栋,1990;宋鸿林,1995;姚鹏,2008),可得出以下认识:

(1) 矿石与围岩中黄铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值多为正值,且数值变化范围比较窄($\delta^{34}\text{S} = +2 \sim +7.9\text{‰}$)之间,其同位素组成及变化特征和壳源重熔型花岗岩(S型)接近。

(2) 不同类型矿石和不同类型硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值没有大的差异,说明硫的来源较为单一,且成矿作

用达到了平衡。

(3) 已测试硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值存在黄铁矿 > 闪锌矿 > 磁黄铁矿 > 黄铜矿 > 方铅矿的特征,说明这些矿物为同期矿化作用的产物。

3.4 微量元素特征

笔者在里伍铜矿田内取了五件不同类型矿石样品,对其中的黄铁矿进行了钴、镍、硒含量测试(见表3)。并对 Co/Ni 与 S/Se 比值进行了初步分析。从表中可以看出,黄铁矿的 Co 含量为 0.0076% ~ 0.086%,Ni 含量为 0.0067% ~ 0.031%,Co/Ni 比值为 1 ~ 2,S/Se 比值投点大部分在 15000 附近(图4)。

Co/Ni 比值大于 1 指示矿质可能来源于岩浆或火山热液;一般情况下,S/Se 比值较小,指示矿质可

能来自于内生作用有关的热液(卢焕章等,1997)。王奎仁(1989)通过对我国 65 个矿床 115 件黄铁矿样的分析研究指出“与火山作用有关的黄铁矿的 Co/Ni 比值在 1.93 ~ 89.35 之间;火山岩、火山喷发物中的黄铁矿 Co/Ni 比值通常很大;火山喷气成因矿床为 12 ~ 22;火山热液矿床中一般为 5 ~ 10,与火山作用有关的矿床当受到后期变质作用如热液作用叠加时,黄铁矿 Co/Ni 比值降低;热液成因的黄铁矿 Co/Ni 比值一般为 1 ~ 5,个别可更高”(宋鸿林等,1995)。姚家栋(1990)对矿田内 3 件黄铁矿和 24 件磁黄铁矿进行的电子探针分析也表明,研究区黄铁矿的 Co/Ni 比值大于 1,S/Se 比值为 2000 ~ 12000。

表3 里伍铜矿田矿石的 S/Se 和 Co/Ni 比值

Table 3 S, Se, Co and Ni isotopic analyses and S/Se and Co/Ni ratios for the ores from the Liwu copper orefield								
样品编号	样品名称	矿石类型	Co($w_B/\%$)	Ni($w_B/\%$)	S($w_B/\%$)	Se($w_B/10^{-6}$)	Co/Ni	S/Se
HNPD8-13	黄铁矿	条带网脉状矿石	0.048	0.031	35.85	147	1.45	2438.78
ZZ-1	黄铁矿	条带状矿石	0.021	0.017	37.48	18	1.24	2082.2.2
WJG-1	黄铁矿	稀疏浸染状矿石	0.018	0.011	37.15	42.4	1.64	8761.79
WJG-7	黄铁矿	稠密浸染块状矿石	0.015	0.0076	36.94	18.9	1.97	19544.97
WJG-8	黄铁矿	网脉状矿石	0.0076	0.0067	36.91	24.3	1.13	15189.3

* 由国土资源部西南矿产资源监督检测中心

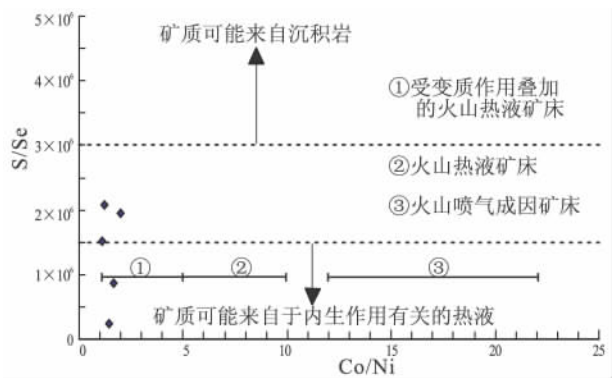


图4 里伍铜矿田黄铁矿的 S/Se 和 Co/Ni 比值
(据卢焕章,宋鸿林转引自王奎仁数据)
Fig.4 S/Se and Co/Ni ratios for the pyrite from the Liwu copper orefield

因此,里伍铜矿田的 Co/Ni,S/Se 比值特征表明,成矿物质来源主要与内生作用有关的含矿热液有关,可能主要来源于岩浆热液。

4 结论与讨论

(1) 里伍铜矿田矿石石英包裹体 $\delta^{18}\text{O} = 9.3\text{‰} \sim 13.4\text{‰}$,均为正值,高于一般岩浆水($\delta^{18}\text{O} = 5\text{‰} \sim$

9‰),与花岗岩中石英氧同位素成分($\delta^{18}\text{O} = 8.9\text{‰} \sim 10.3\text{‰}$)相似;变化范围较窄,为4.1‰,比较接近于偏酸性岩浆岩的变化范围。 $\delta\text{D} = -87\text{‰} \sim -101\text{‰}$,均为负值,其变化范围较窄,比较接近岩浆水的 δD 值特征。在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 图(图3)上,各成分点投影点没有直接落于岩浆水投影区中。矿石中石英的 $\delta^{30}\text{Si}$ (‰)值与含矿变质岩系中的斜长角闪岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ (‰)值和与矿体围岩中的石英脉中的石英(-0.3)相近,但与江浪变质穹隆核部的燕山期花岗岩(0.0)有所不同。石英包裹体中的水是最初热液的残留部分,所以,包裹体中的水的来源指示了热液的来源是偏酸性岩浆岩。而硅质主要来源于矿体附近的围岩中。结合穹隆东北部发育有燕山期“S”型花岗岩,我们推测,含矿热液主要与燕山期“S”型花岗岩的侵入作用有关,并在其热循环的过程中加入了围岩的组份。含矿热液不是直接由岩浆结晶过程中挥发分富集形成的流体,而是岩浆侵入并对周围岩石的加热过程中,岩浆热液沿一定通道运移,并不断有围岩物质加入的混合热液体系。

(2) 硫、钴和镍是里伍铜矿金属矿物的重要组成部分,它们的来源直接反映了矿石中 有用组份的

来源。矿石与围岩中黄铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值多为正值,且数值变化范围比较窄,其同位素组成及变化特征比较接近于壳源重熔型花岗岩(S 型),而且硫的来源单一,黄铁矿中 Co/Ni 比值大于 1,指示可能来源于岩浆或火山热液。所以,我们认为,里伍铜矿田矿石物质主要来源于燕山期“S”型花岗岩,并伴有部分围岩物质的加入。

致谢: 本文引用了《扬子地台西缘江浪变质核杂岩体变形变质作用及里伍式铜矿成矿模式研究》及《四川省九龙县里伍铜矿外围普查报告》部分资料; 在成文过程中得到成都地质调查中心姚鹏副研究员、祝向平工程师、马国桃工程师的指导和帮助, 在此表示诚挚谢意。

参考文献:

[1] 颜丹平, 宋鸿林, 傅昭仁. 四川省九龙县江浪穹隆的变形变质作用与李伍铜矿控矿构造模式[J]. 矿床地质(增刊), 1994, 13: 120 – 121.

[2] 颜丹平, 宋鸿林, 傅昭仁. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩的出露地壳剖面构造地层柱[J]. 现代地质, 1997, 11(3): 290 – 297.

[3] 傅昭仁, 宋鸿林, 颜丹平. 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 – 121.

[4] 邹光富, 汪名杰, 姚鹏等. 四川九龙县江浪铜矿田矿床地质特征、控矿因素及找矿方向[J]. 矿冶, 2008, 17(4): 91 – 99.

[5] 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室. 矿床地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 93 – 99.

[6] 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.

[7] 姚家栋. 试论李伍铜矿床成因[J]. 四川地质学报, 1990, 10(4): 251 – 258.

[8] 宋铁和, 幸石川. 李伍铜矿床成因探讨[J]. 西南矿产地质, 1990, 4(4): 1 – 12.

Origin of the ore-forming matter from the Liwu copper orefield in Jiulong , Sichuan

CHEN Min-hua¹ , DING Jun¹ , CHEN Dao-qian²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources , Chengdu 610081 , Sichuan , China; 2. Liwu Copper Mining Co. , Ltd. , Garze 626200 , Sichuan , China)

Abstract: The Liwu copper orefield in Jiulong , Sichuan tectonically lies in the Jianglang metamorphic core complexes. The detailed examination has been made for the origins of the ore-forming matter from the Liwu copper orefield on the basis of hydrogen , oxygen and sulfur isotopes , trace elements and geological background. The origins of the ore-forming matter are believed to be associated with the intrusion of the Yanshanian “S”-type granites. The magmatic hydrothermal fluids with the ore-forming matter migrated upwards along the pathways due to the thermal effect during the magmatic intrusion. Meanwhile , the repeated reaction between the magmatic hydrothermal fluids and wall rocks once occurred and resulted in the formation of the multicomponent hydrothermal systems.

Key words: Liwu copper orefield; hydrogen and oxygen isotope; sulfur isotope; trace element; ore-bearing hydrothermal fluid; origin of the ore-forming matter