

文章编号:1000-4734(2004)03-0261-05

云南宾川雄鲁摩铜多金属矿床的成矿流体

何明勤^{1,2}, 刘家军³, 杨世瑜², 李朝阳¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 3. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:雄鲁摩铜多金属矿床产于沉积岩中,生成工业意义矿床主体的改造期石英中的流体包裹体显微测温、成分分析及氢氧同位素研究结果表明,雄鲁摩铜多金属矿床的流体为具有中低温、中低盐度和中低密度特征的富钠氯化物型热卤水,成矿流体水来源于与围岩发生了同位素交换的演化大气降水,形成于浅成低压的较酸性还原环境。

关键词:流体包裹体;成矿流体;氢氧同位素;雄鲁摩铜多金属矿床;云南宾川

中图分类号:P618.4101 **文献标识码:**A

作者简介:何明勤,男,1966年生,博士后,副教授,矿床学、地球化学专业。

雄鲁摩铜多金属矿床位于云南省宾川县境内,发现于1959年,是以铜为主的多种金属共生矿床。一些研究者经过调查后将其归为小型规模的热液矿床,但未进行深入的地质研究工作,地球化学数据缺乏。事实上,该矿床作为这一地区以沉积岩为主岩的矿床类型,具有很好的代表性,也是该地区异于众所周知的斑岩型铜矿床的一种新类型。本文通过流体包裹体研究来阐述形成矿床的成矿流体特征,并结合氢氧同位素分析数据对流体来源进行了探讨,这对于揭示其成矿作用本质,掌握成矿规律,进行矿产预测和指导矿产勘查工作都具有重要意义。

1 矿床地质

雄鲁摩铜多金属矿床地处滇西大理段,挟持于洱海—红河断裂与程海—宾川断裂之间的三角形地带,属于扬子准地台西缘丽江台缘褶皱带的南部。区内岩浆活动微弱,仅在矿区西部一侧见有一条黑云母正长斑岩脉,脉体呈北北西向延伸,长约500 m,宽5~10 m,同围岩呈侵入接触,接触界线清楚,据野外观察,该脉体与矿体的空间产出关系不大。矿区地层有第四系残坡积物和三叠系碎屑岩(图1),包括上三叠统白土田组和罗家大

山组。矿体产于罗家大山组灰紫色砂岩与灰、灰黄色页岩中,与构造破碎带关系明显,呈脉状或细脉状,主要受控于北东向断裂。矿石矿物以黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主,少量斑铜矿、孔雀石、蓝铜矿等,矿石构造以脉状、网脉状和块状为主,矿石结构则以它形粒状结构、交代结构等占重要。结合该区地质发展史,综观成矿作用全过程,矿床的形成经历了改造(成矿)期和表生氧化(成矿)期,并以前者为主^[1],因为工业意义矿床由该成矿期所形成,因此这里主要研究改造(成矿)期的成矿流体。改造(成矿)期可进一步划分为铜硫化物阶段和铅锌硫化物阶段。

2 流体包裹体一般特征

根据对野外采集的改造(成矿)期样品的初步观察,选取适合包裹体研究的脉状矿石样品(属铜硫化物阶段),通过对样品中与黄铜矿等金属矿物共生的透明脉石磨制成的光薄片的显微镜下详细观察,矿物中的包裹体以原生包裹体^[2]为主且较发育。基于室温下的相态关系这一最有用的包裹体分类方案^[3],主要有纯液体包裹体、液体包裹体和气体包裹体三类(表1),并以液体包裹体为主,同改造矿床的流体包裹体特征^[4]相似。

收稿日期:2003-12-23

基金项目:95 国家科技攻关项目(96-914-03-04);原有色金属工业总公司95 重点区带项目(96-D-42);国家重点基础研究发展规划项目(G1999043208);云南省教育厅基金项目(0142104)

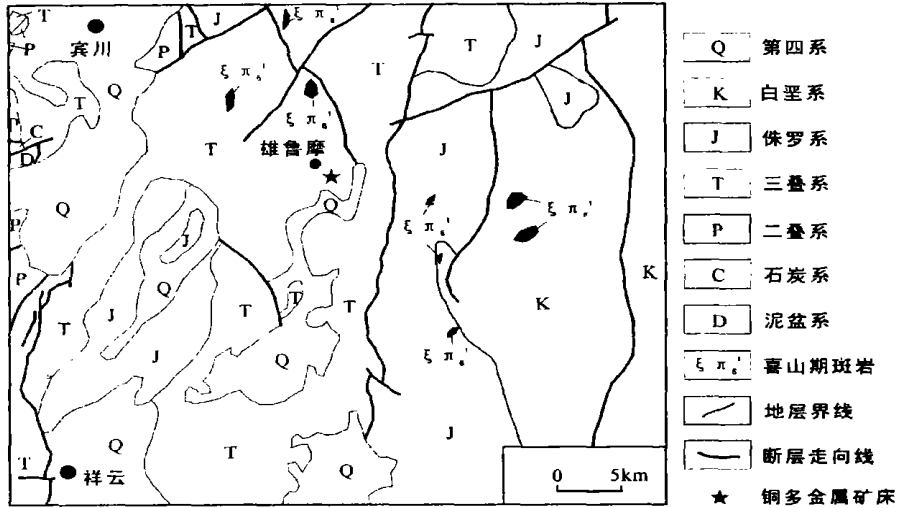


图 1 雄鲁摩地区地质简图

Fig. 1. Geological sketch map of the Xionglumo area.

表 1 雄鲁摩矿区改造期石英的包裹体发育特征

Table 1. Characteristics of fluid inclusions hosted in quartz formed in the reworked mineralization period from the Xionglumo ore field

样号	包裹体类型	数量比/ %	气液比/ %	大小/ μm	相态组合形	形态及分布及
XL ₁ B ₁	I. 液体包裹体	70	10~25	5~10	L+V	圆形、椭圆形， 不规则状，成群分布
	I _A . 纯液体包裹体	20	0	1~8	L	
	II. 气体包裹体	10	60~90	5~10	V+L	
XL ₂ B ₁	I. 液体包裹体	70	5~10	1~8	L+V	浑圆形、圆形， 成群密集分布
	I _A . 纯液体包裹体	30	0	1~5	L	

纯液体包裹体：由单一的液相(L)组成，占各类包裹体总数的20%~30%，个体较小，为1~8 μm ，以圆形、椭圆形为主，成群分布。

液体包裹体：是该区包裹体中最为发育的一种，占各类包裹体总数的70%，相态组合为L+V，气液比5%~25%，大小为1~10 μm ，成群密集分布，常呈圆形、椭圆形或不规则状。

气体包裹体：常呈圆形密集分布，占包裹体总数的10%，是数量最少的一种包裹体，相态组合为V+L，气液比60%~90%，大小5~10 μm 。

3 流体包裹体均一温度、盐度、密度与压力

从包裹体的上述特征及镜下总体观察来看，矿床改造期所形成的包裹体捕获自单一均匀^[2]的NaCl-H₂O为主的流体相，因而可以用均一法测温。结果显示，改造期石英中数量最多的液体包裹体全部均一为液相，均一温度从190~287，平均值215~261，总平均238；冷冻法盐度从5.6%~11%NaCl，主要为7.6%~8%NaCl，较接近，具中低温和中低盐度特点(表2)。

表 2 雄鲁摩矿区包裹体均一温度、盐度、压力与深度

Table 2. Homogenization temperature, salinity, pressure and depth of fluid inclusions from the Xionglumo ore field

样号	包裹体类型	气液比/ %	大小/ μm	测定个数	均一温度/		盐度/ %		密度/ (g/cm ³)	成矿压力/ (10 ⁵ Pa)	成矿深度/ km
					范围	平均	范围	平均			
XL ₁ B ₁	液体包裹体	15~25	10~20	10	230~287	261	5.6~9.5	8	0.846	249.92	0.833
XL ₂ B ₁	液体包裹体	5~15	6~8	11	190~241	215	5.7~11	7.6	0.890	202.51	0.675

利用流体包裹体NaCl-H₂O体系的均一温度和盐度能够较容易地估计捕获流体的密度、计算其形成压力。根据各样品均一温度和盐度平均值

由Bodnar(1983) T⁻ - 图^[5]得到均一为液体的液体相密度分别为0.850 g/cm³和0.889 g/cm³，在Bischoff等(1991)的 T⁻ - 图^[5]上得到密度则为

0.842 g/cm³和0.891 g/cm³,两者图解结果十分相近,取均值得各自的密度为0.846 g/cm³与0.890 g/cm³(表2),总平均得到矿床改造期成矿流体的密度为0.868 g/cm³,属中低密度;通过流体包裹体进行成矿压力和深度的估算方法较多,常用的有含CO₂包裹体的等值线(等比容)法、含CO₂包裹体浓度法以及气体包裹体压力测定法等^[6],分别适用于含CO₂包裹体、气成或沸腾的条件,具有一定的局限性。采用邵洁莲(1983)提出的经验公式^[7],由初始温度 $t_0 = 374 + 9.20N$ (N 为盐度,以NaCl的质量百分数来表示,下同)、初始压力 $p_0/0.1 \text{ MPa} = 219 + 26.20N$ 可经验计算成矿压力 p 和成矿深度 h 。其中, $p = p_0 \cdot t/t_0$ (t 为包裹体均一温度), $h/\text{km} = p/300$ 。计算得到各样品的成矿压力为 $249.92 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和 $202.51 \times 10^5 \text{ Pa}$ (表2),平均 $226.21 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。成矿深度为0.833 km和0.675 km,平均0.754 km,是一种十分浅成低压的环境。

4 流体包裹体成分

由于改造期矿石样品的石英中的包裹体以原生包裹体为主,因此其单矿物液气相成分基本能代表形成矿床的流体化学成分。液相成分(表3)表

明:改造期成矿溶液是含Na⁺、K⁺、Mg²⁺、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻等离子的较复杂成分溶液,阳离子的相对含量关系是Na⁺ > K⁺ > Mg²⁺,阴离子的相对含量关系是Cl⁻ > F⁻ > SO₄²⁻,但阴阳离子中各以Cl⁻和Na⁺占绝对优势,分别占阴离子和阳离子摩尔总数的96%和94%,因而可近似地看作为NaCl-H₂O体系,这与包裹体的镜下观察与研究得到的结果一致;流体包裹体的冷冻法测盐表明成矿溶液为7.6%~8% NaCl,属卤水范围(含盐度或总矿化度>5%)^[8,9],均一温度215~261℃,系热卤水(温度50~300℃)^[10];与富含重金属的现代卤水溶液^[9]相比,离子含量普遍仅为其数十、数百分之一或更低,甚至低于海水;Na⁺/K⁺质量比平均为15.78,Na⁺大于K⁺,Na⁺/K⁺原子比为25.88和27.62,平均26.75,相近于其他一些矿床如密西西比河谷型等矿床流体包裹体中的Na⁺/K⁺原子比^[11];Cl⁻/SO₄²⁻原子比平均26.82,也与密西西比河谷型等矿床流体包裹体中的Cl⁻/SO₄²⁻原子比接近^[11];SO₄²⁻/Cl⁻质量比为0.066和0.209,平均值等于0.138,小于硫酸盐型热卤水的下限,是富钠的氯化物型热卤水;F⁻/Cl⁻质量比或原子比均低,平均为0.007和0.014,如此低的F⁻/Cl⁻比值也反应矿床属地下热卤水成因^[12]。

表3 雄鲁摩矿区包裹体液相成分与参数

Table 3. Aqueous phase composition of and parameters for fluid inclusions from the Xionglumo ore field

样号	液相成分/(μg/g)							Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺ /(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	F ⁻ /Cl ⁻	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻					
XL ₁ B ₁	17.4	1.14	痕	0.03	0.27	23.66	4.94	15.26	580	0.209	0.011	12.952
XL ₂ B ₁	30.30	1.86	痕	0.05	0.14	44.54	2.96	16.29	606	0.066	0.003	40.691

注:原地质科学院矿床地质研究所分析。

包裹体气相成分主要是H₂O和CO₂,并含一定量的N₂(表4),且以H₂O含量最高,达97%或98%以上。根据气相成分可以计算出一些重要的、控制成矿作用过程的物理化学参数,但在利用流体包裹体气体成分数据进行物理化学参数计算时,通常都假定包裹体被捕获时各气体之间达到了化学平衡,而且包裹体形成时为单相气体,这样

就可以根据气体间的一些平衡反应求出包裹体的pH、Eh等参数^[12]。计算出的pH介于4.44与4.64之间(表4),均值为4.54,是一种比较酸性的溶液;以计算出的pH为依据,采用图解法^[13]得出成矿流体的Eh、 $f(\text{O}_2)$ 、 $f(\text{CO}_2)$ 值,也列于表4。其中, $\lg f(\text{O}_2)$ 为-37.8~-33.4,Eh变化于-0.68至-0.64之间,属于较还原的环境。

表4 雄鲁摩矿区包裹体气相成分与参数

Table 4. Gaseous phase composition of and parameters for fluid inclusions from the Xionglumo ore field

样号	气相成分/(10 ⁻⁶ mol/g)					O ₂ /CO ₂	pH	Eh	$\lg f(\text{O}_2)$	$\lg f(\text{CO}_2)$
	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	CO	N ₂					
XL ₁ B ₁	49.558	2.020	0.000	0.000	0.517	24.53	4.64	-0.68	-37.8	2.26
XL ₂ B ₁	95.883	2.715	0.000	0.000	0.382	35.32	4.44	-0.64	-33.4	2.30

注:原地质科学院矿床地质研究所分析。

5 流体氢氧同位素与流体来源讨论

选纯石英脉型铜硫化物矿石样品中的石英脉石单矿物,作矿物氧同位素和包裹体水氢同位素分析,数据列于表5。石英 ^{18}O 从13.7‰~17.6‰,平均15.65‰。流体D从-105‰到-117‰,平均-111‰。一般地,岩石、矿物包裹体中的氢、氧同位素组成可用来确定成岩成矿流体水的来源^[14],但却难以真实地反映成岩成矿流体中的氢、氧同位素组成,因为包裹体的液体往往与矿物或岩石发生后期同位素交换,从而偏离其原始

同位素组成,同时也是诸多矿床的共同特点。对于主要由石英等非含氢矿物组成的岩矿石,尤其是在水岩比较大时,这种交换作用对流体氢同位素的影响可能很小,可以不予考虑或者忽略不计;而对于氧同位素的影响,则可以根据矿物氧同位素组成,利用福尔^[15]的公式 $1000\ln[(^{18}\text{O}_{\text{石英}} + 1000)/(^{18}\text{O}_{\text{水}} + 1000)] = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ 计算出与石英呈同位素交换达到平衡的流体的氧同位素组成,也列于表5,能真实地反映原始成矿溶液的性质,其中的 T 采用包裹体均一温度平均值换算获得。

表5 雄鲁摩矿区氢、氧同位素组成

Table 5. Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions from the Xionglumo ore field

样号	样品类型	成矿期	测定对象	分析结果		
				$^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}/\text{‰}$	$D_{(\text{SMOW})}/\text{‰}$	$^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}(\text{SMOW})}/\text{‰}$
XL ₁ O	脉状矿石	改造	石英	13.7	-105	5.25
XL ₂ O			石英	17.6	-117	6.81

分析者: 原地质科学院矿床地质研究所

与我国沉积改造型层控矿床流体的D和 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值^[16]相比,雄鲁摩铜金属矿床的 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 较大,而D值偏低,但矿床成矿流体较低的D值与滇西温泉水的D值(-113‰至-80.8‰^[17])却较相近,反映成矿流体水应来源于大气降水,这与矿区没有发生变质作用、岩浆活动不强烈且与矿体空间产出关系不大等宏观地质事实相吻合。如果取流体D的平均值-111‰作为成矿时矿区大气降水的D值,按照Craig^[18]的雨水线方程 $D = 8^{18}\text{O} + 10$ 计算出的大气降水 ^{18}O 为-15.1‰。

可见,成矿流体的 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (5.25‰~6.81‰)远远大于成矿时大气降水的 ^{18}O 值,显示 ^{18}O 的严重“漂移”,是与围岩发生水岩反应导致同位素交换的结果,而且同位素交换时的水岩比应该比较小才会造成这种 ^{18}O 的严重“漂移”。

6 结论

(1) 成矿流体是 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{F}^-$ 的溶液,但以 Cl^- 和 Na^+ 占绝对优势,可近似地看作为 $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ 体系。

(2) 流体具中低温、中低盐度和中低密度特征。

(3) 成矿作用发生于浅成低压、较酸性的还原环境。

(4) 与成矿时原始大气降水 $^{18}\text{O} = -15.1\text{‰}$ 相比,成矿流体水 ^{18}O 为5.25‰~6.81‰,明显偏高,可能是来源于演化了的大气降水。

致谢: 野外工作得到钟昆明博士、陈昌勇博士、马德云博士和原西南有色地质勘查局310地质队杨高伟工程师的帮助与配合,深表感谢!

参 考 文 献:

- [1] 何明勤. 滇西小龙潭—马厂箐地区铜多金属矿床地质地球化学及成因研究[D]. 昆明: 昆明理工大学(博士论文), 2000.
- [2] Roedder E. 流体包裹体(上册)[M]. 卢焕章, 王卿铎, 等(译). 长沙: 中南工业大学出版社, 1985, 1 ~ 303.
- [3] Bodnar RJ, Beane R E. Temporal and spatial variations in hydrothermal fluid characteristics during vein filling in preore cover overlying deeply buried porphyry copper-type mineralization at Red Mountain, Arizona[J]. *Econ Geol*, 1980, 75: 876 ~ 893.
- [4] 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, 226 ~ 247.
- [5] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999, 1 ~ 140.
- [6] 中国科学院地球化学研究所包裹体实验室. 科学技术成果报告(矿物中包裹体研究)[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1980, 1 ~ 79.

- [7] 张宝琛,覃功炯,王凤阁. 辽宁省岫岩县东堡子金矿流体包裹体研究[J]. 现代地质, 2002, 16(1): 26~30.
- [8] 张宗祥. 卤水成矿的几个基本问题[J]. 地质与勘探, 1980, (7): 19~21.
- [9] 姜齐节,刘东升,陈民扬,冯建良,余大良,黄超,曾骥良. 论渗流热卤水成矿作用的意义与成因标志[J]. 地质与勘探, 1980, (1): 1~6.
- [10] 孙克祥. 热卤水成矿说[J]. 地质地球化学, 1980, (1): 23~37.
- [11] Sawkins F.J. The significance of Na/ K and Cl/ SO₄ ratios in fluid inclusions and subsurface waters, with respect to the genesis of Mississippi valley-type ore deposits[J]. *Econ Geol*, 1968, 63: 935~942.
- [12] 卢焕章,李秉伦,沈珪,赵希,喻铁阶,魏家秀. 包裹体地球化学[M]. 地质出版社, 1990, 1~161.
- [13] 李秉伦,石岗. 矿物中包裹体气体成分的物理化学参数图解[J]. 地球化学, 1986, (2): 126~137.
- [14] 魏菊英,王关玉. 同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1988, 112~139.
- [15] 福尔 G. 同位素地质学原理[M]. 潘曙兰,乔广生(译). 北京:科学出版社, 1986, 281~301.
- [16] 卢焕章,刘丛强. 沉积改造层控矿床包裹体研究与矿床形成机理探讨[J]. 矿床地质, 1987, 6(2): 16~28.
- [17] 刘家军,李朝阳,潘家永,胡瑞忠,刘显凡,张乾,兰平. 一思茅盆地砂页岩中铜矿床同位素地球化学[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 223~234.
- [18] Craig H. Isotopic variations in meteoric waters[J]. *Science*, 1961, 133: 1702~1703.

ORE-FORMING FLUID OF XIONGLUMO COPPER POLYMETALLIC ORE DEPOSIT IN BINCHUAN, YUNNAN

HE Ming-qin^{1,2}, LIU Jia-jun³, YANG Shi-yu², LI Chao-yang¹

(1. *Open Lab. of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. Land Resources Engineering Faculty of Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

3. Geology University of China, Beijing 100083, China)

Abstract: The results of microthermometrical measurement, composition analysis of fluid inclusions, and oxygen and hydrogen isotopes in quartz formed in the reworked mineralization period indicate that the ore-forming fluid of the Xionglumo copper polymetallic ore deposit is a sodium-rich chloride-type hot brine which is characterized by low to medium temperature, salinity and density. The fluid water was formed in a hypergene, low pressure, acidic, reductive environment and derived from evolved meteoric water because of a significant oxygen isotope exchange during water/rock reaction.

Key words: fluid inclusion; ore-forming fluid; hydrogen and oxygen isotopes; Xionglumo copper polymetallic ore deposit; Binchuan, Yunnan