

文章编号: 1001-1412(2000) 03-0216-08

# 兰坪—思茅盆地砂页岩中 脉状铜矿床的特征及成因

刘家军, 李朝阳, 潘家永, 刘显凡, 刘玉平

(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)

**摘要:** 兰坪—思茅中生代盆地中的铜矿床, 主要产于由砂岩、粉砂岩和页岩组成的含盐红色碎屑岩建造中, 故一些研究者将其与典型的陆相砂页岩型铜矿床相类比。但就铜矿化的产出形式、元素和矿物组合、矿石稀土配分特征以及同位素组成特点等而言, 均与典型砂页岩型铜矿床存在显著差异, 而与一些地热区的矿化作用相似。说明研究区砂页岩中的铜矿床具有特殊的成矿机理。

**关键词:** 砂页岩; 铜矿床; 成矿机制; 兰坪—思茅盆地; 滇西

**中图分类号:** P611; P618.41

**文献标识码:** A

砂页岩中的铜矿床是世界一种重要的铜矿床类型。此类矿床主要集中出现在元古宙、二叠—三叠纪和侏罗—第三纪<sup>[1,2]</sup>。其典型实例为赞比亚铜矿带、扎伊尔铜矿带、中欧含铜页岩矿床、俄罗斯乌多坎铜矿床、美国怀特派恩和斯珀湖铜矿床以及我国滇中、湘中等地中生代陆相盆地中的铜矿床。对于砂页岩型铜矿床的成因, 一直存在争议。其中 60~70 年代以沉积—成岩成因观点占统治地位<sup>[3,4,5,6]</sup>, 而 80 年代以来沉积—改造成因观点逐渐抬头<sup>[1,2,7,8,9,10,11]</sup>。在近几年的研究中, 也有学者提到了(海相)沉积喷气模式<sup>[1,12]</sup>。无论何种成因观点, 砂页岩型铜矿床均具有的共同特点<sup>[2]</sup>是: 矿体呈层状、似层状; 品位低, 规模大; 铜的金属矿物主要是黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿。

然而, 在滇西兰坪—思茅盆地中, 新生代砂页岩中, 存在一种主要以脉状、网脉状形式产出的高品位、广分布的铜矿床。其中铜的金属矿物除黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿外, 黝铜矿占有相当大的比例, 并构成了铜矿床的一种主要矿石类型。目前对盆地中这种铜矿床成因的倾向性看法是<sup>[13,14]</sup>: 在同生沉积初步富集的基础上经后期改造再富集成矿, 强调后生改造占主导地位, 并将其归之为砂页岩型或红层铜矿床。但笔者通过对盆地中近十个典型铜矿床研究后认为, 它们明显不同于国内外典型砂页岩型铜矿床, 而是一种与陆相喷流作用有关的新类型铜矿床。

收稿日期: 2000-04-21; 修订日期: 2000-07-03

基金项目: 国家重点基础规划研究 (G1999043208)、中国科学院“百人计划”和中国科学院与云南省科技攻关合作资助项目。

第一作者简介: 刘家军 (1963-), 男, 湖北仙桃人, 研究员, 博士, 1986 年在成都理工学院大学毕业后留校任教, 于 1991 年和 1996 年分别获硕士学位和博士学位, 1996~1998 年在中科院地球化学研究所做博士后, 现在中科院地球化学研究所工作。主要研究方向为层控矿床和矿床地球化学。

## 1 矿床地质概况

滇西兰坪—思茅盆地中的铜矿床是我国境内所见到的一种具有独特地质特征的新类型铜矿床。矿床主要赋存于中、新生代由砂岩、粉砂岩和页岩组成的含盐红色碎屑岩建造中。在第三系砂、页岩中,铜矿体主要呈层状、似层状和透镜状产出;而在较老的地层(三叠—白垩系)中的铜矿床,铜矿体则大多数呈脉状、网脉状形式产出。矿石矿物成分较复杂,现已鉴定出的矿物 20 余种。除铜的硫化物如黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿外,还有(富砷)黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、蓝铜矿、辉锑矿、石英、重晶石、方解石以及少量的毒砂、辰砂、雄黄、雌黄和金、银、钴的矿物(如银金矿、自然银、辉银矿、硫铜银矿和硫钴矿等<sup>[15]</sup>)。矿石构造以脉状、网脉状、角砾状和块状为主,次为层纹状、条带状、浸染状。矿床围岩蚀变主要为硅化、方解石化和重晶石化等。盆地中的铜矿床多沿长期活动的深大断裂(澜沧江断裂)或同生断裂(中轴断裂)分布(图 1)。

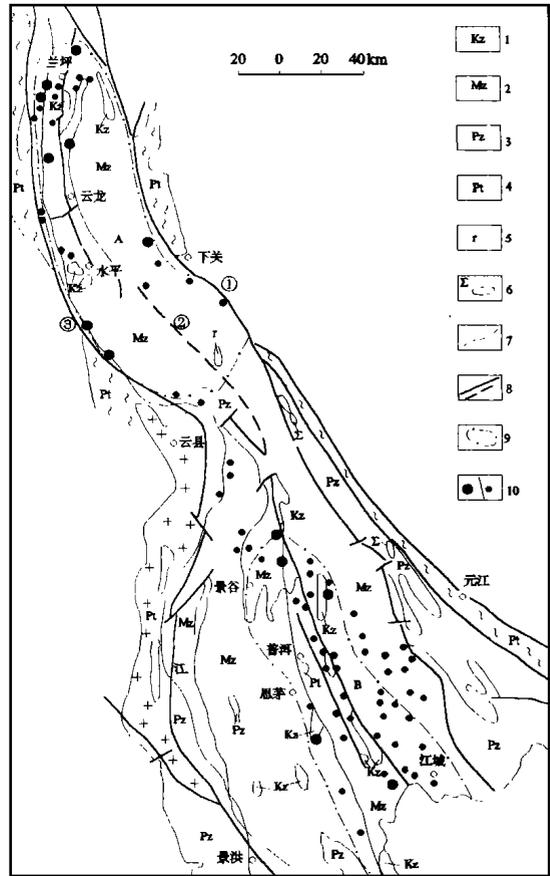


图 1 兰坪—思茅盆地地质构造及铜矿床(点)分布略图  
(据文献 [14], 略有修编)

Fig. 1 Sketch map showing the geology and the distribution of copper deposits or occurrences in Lanping-Simao basin, western Yunnan.

1. 新生界 2. 中生界 3. 古生界 4. 元古界 5. 中生代酸性岩  
6. 新生代碱性岩 7. 地质界线 8. 断层 ① 苍山—哀牢山断裂

② 中轴断裂 ③ 澜沧江断裂 9. 现代热水带 (A. 兰坪—巍山中温区  
B. 普洱—江城 中温区) 10. 铜矿床(点)

## 2 铜矿床的典型特征

### 2.1 成矿地质背景

笔者通过综合分析研究表明<sup>①</sup>,

① 刘家军. 兰坪—思茅盆地红色碎屑岩建造中铜矿床的陆相喷流作用(博士后科学研究报告). 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1998.

兰坪—思茅盆地自中生代晚期以来曾经历过三次以拉张作用为主的裂陷活动：(1)晚三叠世时的裂陷活动形成了一级地堑盆地；(2)侏罗纪—早白垩世时的裂陷活动形成了二级地堑盆地；(3)古新世时沿盆地中轴断裂发生的裂陷活动形成了三级地堑盆地。在这种具有拉张性质的地质环境中，古地热活动相当强烈，并在盆地中留有明显的迹象<sup>[16]</sup>，如一系列的喷流沉积岩（如硅质岩、天青石岩、重晶石岩）和现代温泉（古地热活动的残余）的存在；主干断裂带中出现古泉华和喷流角砾岩；大量早喜山期热卤水金属矿化等。因此，盆地中高的地热异常与拉张构造环境，有利于喷流成矿作用的发生。

## 2.2 矿体产出形式

产于第三系砂页岩中的铜矿床（如登海山、草地龙、油炸房、蛮坡等），矿体主要呈层状、似层状、透镜状或扁豆状，矿石构造多为条带状、层纹状、结核状、皮壳状和浸染状等；而产于三叠—白垩系砂页岩中的铜矿床（如金满、白龙厂、水泄、西萨等），矿体主要呈脉状、网脉状形式产出，矿石构造普遍出现块状、角砾状和脉状。其中角砾状矿石中的角砾棱角明显，无挤压磨蚀现象，表明角砾状矿石系构造活动期间水热喷发形成的<sup>[16,17]</sup>。

## 2.3 矿物组合

盆地内铜矿床中的矿物组合，从北至南有变复杂的趋势。北部的铜矿床（如金满），矿物组合为毒砂—黄铜矿—(砷)黝铜矿—斑铜矿—石英—重晶石；但向南，矿床中黄铜矿、斑铜矿、石英所占比例逐渐减小，而辉铜矿、重晶石则逐渐增多，并在南部的瑶家山等铜矿床中出现了雄黄—雌黄—辰砂等典型的低温矿物组合。流体包裹体均一温度也显示，从北至南，矿床形成温度逐渐降低，即从360℃降至100℃。由此说明，北部成矿环境处于相对还原、高温条件，而南部则处于相对氧化、低温条件。矿床中的As元素，不主要以-1价形式存在于相对还原环境下形成的毒砂中，而主要以+3价形式存在于相对氧化条件下形成的(砷)黝铜矿中，说明铜矿床的形成具有其特殊性。

就铜矿床中黝铜矿族矿物的As/(As+Sb)原子比(表1)而言，从盆地北部至南部(金满→水泄→大园铺→白龙厂→瑶家山)，其比值有逐渐增加的趋势。如上述各铜矿床中的比值依次为0.492→0.669→0.731→0.789→0.906。显示出氧化程度相对愈高，则黝铜矿族矿物中As含量愈高。另一方面，随着深度的增加，黝铜矿族矿物中的As含量也愈高。如金满铜矿床从浅部至深部，黝铜矿族矿物中As/(As+Sb)原子比(表2)出现0.190→0.462→0.578→0.772的递增趋势。这种变化可能反映了铜矿床形成时，随着深度变浅温度逐渐降低以及成矿流体酸碱度的变化。

表1 铜矿床中黝铜矿族矿物电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analyses of tetrahedrite family from the copper deposits

矿区	样品数	wB %							As/(As+Sb)
		Cu	S	As	Sb	Fe	Zn	Ag	
金满 <sup>a</sup>	27	41.10	25.35	9.95	16.72	4.63	1.79	0.18(20)	0.492
水泄 <sup>a</sup>	10	41.69	26.67	12.84	10.32	4.33	2.95	0.13(10)	0.669
大园铺 <sup>b</sup>	3	41.93	26.42	15.15	9.04	4.45	2.38	0.08	0.731
白龙厂 <sup>b</sup>	4	43.85	26.49	15.84	6.89	2.93	2.10	0.05	0.789
瑶家山 <sup>b</sup>	3	46.36	26.94	18.15	3.05	3.83	0.89	0.03	0.906

a. 中国科学院地球化学研究所电子探针室分析，并综合了文献[15]的数据

b. 电子探针分析数据引自文献[15]

表 2 金满铜矿床不同中段黝铜矿族矿物成分

Table 2 Composition of tetrahedrite family from different section in Jinman copper deposit

中 段	$w_B / \%$							As / (As + Sb)
	Cu	S	Sb	As	Fe	Zn	Ag	
第一中段	36.97	23.65	28.64	4.27	4.55	2.01	0.16	0.195
	38.24	23.87	27.59	3.85	4.82	1.89	0.23	0.185
第二中段	40.35	25.32	17.27	8.80	4.05	2.94	0.05	0.453
	40.76	26.66	15.24	8.35	5.64	3.15	0.01	0.471
第三中段	39.42	26.87	13.82	11.45	3.97	3.04	0.01	0.574
	41.58	24.55	13.95	11.94	4.55	2.76	0.15	0.582
第四中段	40.24	25.45	9.95	17.54	3.22	2.86	0.11	0.741
	40.87	25.99	7.54	18.75	4.01	3.00	0.00	0.802

中国科学院地球化学研究所电子探针室分析

## 2.4 元素组合

盆地内铜矿床均高度富集 Cu, As, Sb, Ag 等, 具有一套特征的元素组合。从盆地北部至南部, 矿物组合由简单到复杂。其中北部的元素组合为 Cu-As-Sb-Ag-Zn, 中部为 Cu-As-Sb-Ag-Zn-Co, 而南部为 Cu-As-Sb-Hg-Ag-Zn-Co-(Au-Ga)。显然这种元素组合明显不同于典型砂页岩型铜矿床中常见的元素组合 (Cu-Pb-Zn-Ag-Co)<sup>[21]</sup>, 但类似于国内外一些典型地热矿化区的成矿元素组合<sup>[18, 19, 20]</sup>。

## 2.5 稀土元素组成

矿石中稀土元素总量  $w$  ( $\sum \text{REE}$ ) 大都较低 ( $< 100 \times 10^{-6}$ ), 低者仅为  $1.06 \times 10^{-6}$ , 且  $\delta_{\text{Ce}}$   $\delta_{\text{Eu}}$  变化较大。在球粒陨石标准化配分图上出现一组明显富集中稀土的样品 (图 2)。此组样品与盆地中啦井温泉区的泉华<sup>[18]</sup>、加拿大不伦瑞克块状硫化物喷流型矿床中的矿石<sup>[21]</sup>所具有的稀土配分特征类似, 反映了盆地中铜矿床是高地热环境下喷流作用的产物。

## 2.6 同位素组成

作者及其他研究者<sup>[14, 15, 16]</sup>对矿床硫同位素组成进行了测试。

结果表明, 矿床  $\delta^{34}\text{S}$  值变化较大 (其中硫化物  $-35.6 \times 10^{-3} \sim +7.0 \times 10^{-3}$ , 硫酸盐  $+7.7 \times 10^{-3} \sim +16.8 \times 10^{-3}$ ), 但塔式分布明显 (主峰值为  $-2 \times 10^{-3} \sim 0 \times 10^{-3}$ , 图 3); 热液矿物 (方解石和铁白云石) 和石英包裹体中  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  值主要变化在  $-6 \times 10^{-3} \sim -3 \times 10^{-3}$  之间; 含矿

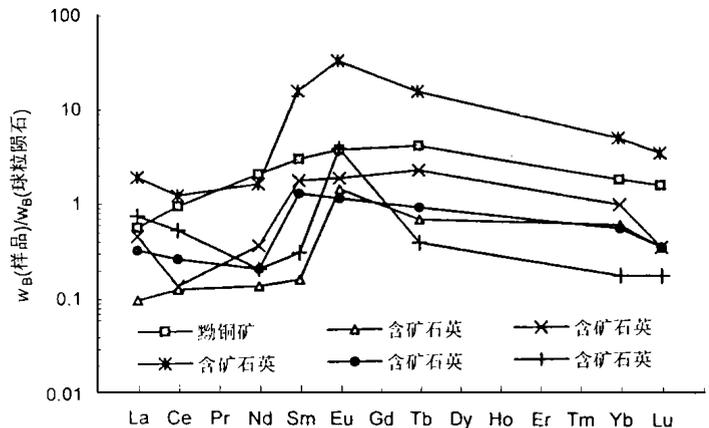


图 2 热液矿物稀土元素球粒陨石标准化配分模式

Fig. 2 Chondrite-normalized REEs pattern of hydrothermal minerals from the copper deposits

石英和矿化岩石的  $\delta^{30}\text{Si} = -0.3 \times 10^{-3} \sim 0.0 \times 10^{-3}$ 。上述同位素组成特点,反映了铜矿床形成时有深部物质的参与,但又根据热液矿物及矿石中的铅、氢和氧同位素组成以及矿石的微量元素组成特点,笔者排除了由研究区岩浆岩直接提供成矿物质的可能性,因此该特点与典型砂页岩型铜矿床的成矿物质来源于盆地中的沉积岩<sup>[1]</sup>相异。

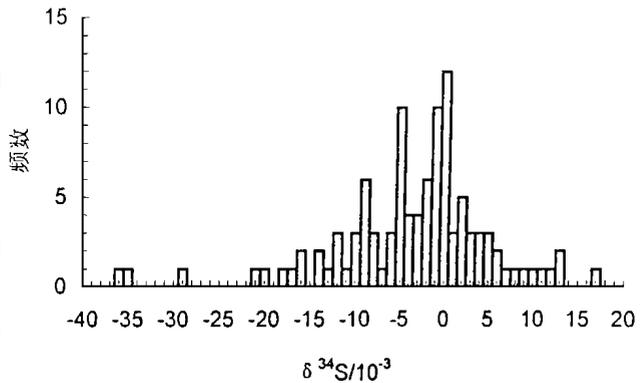


图 3 铜矿床硫同位素组成分布图

Fig. 3 Sulfur isotopic distribution of the copper deposits

### 3 矿床形成机制

兰坪—思茅盆地在沉积作用进

行的同时,在盆地中部发生了与边界断裂平行的张性断裂,产生切割较深的堑沟。从现有资料来看,堑沟构造活动时间较长,可能从晚古生代末即开始,持续到下第三纪盐系沉积结束。古新世时,盆地沿中轴又发生裂陷<sup>[22,23]</sup>形成狭长的堑沟——三级盆地,致使盆地内断裂构造和层间破碎十分发育。在这些原先应变能量强大的部位则转化成为最显著的减压扩容带,为陆相喷流铜矿床的形成提供了重要的场所。

业已证明,形成铜矿床的成矿流体主要是大气降水补给的地下水。当大气水沿着该区断裂破碎和裂隙带以及岩层中的空隙、孔隙由上而下进行渗透时,在热流的影响下,下渗的地下水渗透到一定深度后,因其比重减轻开始向减压带(陡倾斜断层及两侧的羽状裂隙系统)迁移,向上回返。与此同时,较冷的大气水又持续向下渗透,并“驱赶”已变热的地下水,构成促进热水向上迁移运动的另一动力。另外,通过深大断裂使深部局部脱气作用产生的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等气体进入热水溶液中。这样在一定范围内自然形成了一个对流循环系统。

在地下水加热和对流循环过程中,被加的流体不断溶解红色碎屑岩中的膏盐层成为热卤水。这种富含膏盐的热卤水不仅具有较强的萃取红色碎屑岩建造及其基底等岩石或各类早期矿化体中的成矿物质的能力,而且也极大地提高了热卤水搬运金属组分的能力。因此,当地下水加热后,特别是达到一定高温之后,会大大加强对流经岩石中成矿物质的溶滤和萃取的能力。当这种富含成矿物质组分的成矿流体沿断裂(同生断裂)向上运移至浅部环境时,因温度、压力、pH、Eh值等物理化学条件的改变而卸载沉淀出所溶解的物质,形成陆相喷流型矿床中各种不同形态的矿体:(1)若上覆沉积物厚度不大,盆地湖水较浅,成矿流体可能在到达湖底之前即已沸腾卸载,形成以脉状、网脉状、浸染状、同生角砾状构造为特征的矿石,如金满铜矿床;(2)若上覆沉积物厚度大,盆地湖水较深,成矿流体喷出湖底,并因与周围湖水的混合而迅速冷却,形成具条带状、层纹状、鲕状、豆状等典型沉积构造的矿石,如白洋厂铜多金属矿床的西矿段、金顶铅锌矿床和勐野井钾盐矿床;(3)若成矿流体流经碳酸盐岩石时,因碳酸盐沉积物通常

在成岩过程中较早被胶结形成孔隙度低的不透水层,但其性脆又极易溶解,形成较大的溶洞空间。此时流体通过断裂进入溶洞时,因容矿裂隙系统突然被打开,致使流体所处的物理化学条件的突然改变,这样流体便会发生沸腾并迅速与冷水混合,沉淀出块状、囊状和鸡窝状矿体。如白龙厂铜矿床;(4)若上升成矿流体到达无沉积物盖层时的陆地表面时,即形成地表以氧化物为主,地表以下以脉状、网脉状硫化物为主的泉华型矿床。如啦井红土洞铜矿点及现代温泉喷流沉积<sup>[18]</sup>。

在陆相喷流铜矿床形成过程中,热水溶液的沸腾喷发是其形成的主要机制。大量研究表明,溶液沸腾是热水成矿的一种重要而又有效的成矿机制<sup>[17,24]</sup>。这种沸腾作用不仅发生在喷发于地表的现代地热系统,而且也常见于浅成地热系统。热水沸腾常导致强烈的水热喷发而形成喷流角砾岩,并伴随明显的矿化。发生沸腾时,围岩不可能向流体提供能量。因此沸腾作用可能是等焓沸腾或者是能量从流体向围岩散失的沸腾<sup>[25]</sup>,且沸腾作用可使 40.6% 的流体转化为气相<sup>[26]</sup>。不难想象,在断裂系统的开放体系中上升的较高温度的流体由于压力降低而沸腾,CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> 等气体大量逸出,铜的浓度急剧提高。由于沸腾的成矿流体与盆地内冷水或下渗的富氧冷水混合而发生氧化还原作用,致使大量黄铜矿、黝铜矿和斑铜矿等硫化物快速堆积下来,形成具有块状构造的矿石。在盆地内铜矿床中普遍存在块状矿石和角砾状矿石,大量的碳酸盐矿物,成矿流体中富含 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> 等挥发份以及热液矿物中存在沸腾包裹体的现象表明,成矿流体的沸腾喷发乃盆地内铜矿床形成的主要机制。

由于陆相喷流作用具有脉动性,加上各元素本身地球化学特征的差异,致使陆相喷流型矿床常出现水平和垂直分带现象。如脉状、网脉型多为铜矿化,盆地沉积型多为铅、锌、钾盐矿化,而泉华型多为金、锑、汞、砷矿化。

## 4 陆相喷流作用的成矿意义

沉积岩中的喷流矿床是本世纪 70 年代出现的矿床学、沉积学新事物。20 多年来大规模地质调查和各种模拟实验,使人们愈来愈认识到喷流作用对成矿的重要意义,并已作为当前矿床学领域中热门研究课题之一。然而这一重要成矿作用,人们一般多与海相贱金属块状硫化物矿床相联系在一起,受公认最具典型意义的莫过于 SEDEX 型矿床了。至于陆相喷流作用的发生与成矿,尚未引起人们足够的重视。笔者通过对兰坪—思茅盆地砂页岩中铜矿床的研究表明,陆相喷流作用对铜等众多金属元素的矿化意义不容低估。目前有关海底喷流矿床的研究较为深入,国内外已有众多实例。但对陆相环境中喷流成矿作用的认识起步较晚,对其成矿机理,特别是矿床的保存条件研究还相当薄弱。大陆远比海洋复杂,陆相环境中的矿床形成之后大多处于地表,而这种地表环境的不稳定性易使矿床的本来面目受到严重破坏。尽管如此,李朝阳等<sup>[27,28]</sup>根据矿床产出的特征,把陆相喷流作用形成矿床时可能产出的环境划分为三种,即盆地沉积型、热泉沉积型和地表浅部脉状、网脉状充填交代型。因此,兰坪—思茅盆地砂页岩内脉状铜矿床是陆相喷流矿床中一种重要而又较特殊的类型——地表浅部脉状、网脉状充填交代型,它是上涌的含 Cu 热液因为上部压力过小而导致矿质过早地在通道(喷流口区)以角砾状

块状、脉状或网脉状形式沉淀下来的产物;而层状铜矿床则是陆相喷流矿床中的另一种类型——盆地沉积型,它是上涌的含  $\text{Cu}$  热液在开放的盆地水体中以条带状、层纹状、结核状等形式沉淀下来的产物。

综上所述,兰坪—思茅盆地砂页岩中的铜矿床,是迄今为止我国较为典型的与陆相喷流作用有关的铜矿床。在国内,对此类成因铜矿床的了解不多,研究工作尚少开展,因而客观潜力极大。加强对这类矿床的研究,无论从何种角度来看,其重要意义都是显而易见的。

## 参考文献:

- [1] Brown A C. Word-class sediment-hosted stratiform copper deposits: characteristics, genetic concepts and metallogenesis [J]. *Australian Journal of Earth Science*, 1997, 44(3): 317-328.
- [2] вблина И Ф. Особенности формирования крупных месторождений медистых песчаников и сланцев [J]. *Геология Руных Месторождений*, 1997, 38(4): 372-386.
- [3] Brown A C. An epigenetic origin for stratiform Cu-Pb-Zn sulfides in the lower Nonesuch shale, White Pine, Michigan [J]. *Econ. Geol.*, 1974, 69: 271-274.
- [4] Garlick W G. Genetic interpretation from ore relations to algal reefs in Zambia and Zaire [A]. In: Boyle R W, *et al.* eds. GAC Special Paper 36 [C]. 1989. 471-498.
- [5] Wedepohl K H. Kupferschiefer as a prototype of syngenetic sedimentary ore deposits [J]. *Soc. Min. Geol. Japan*, 1971, 3: 268-273.
- [6] Fleischer V D, Garlick W G, Haldane R. Geology of the Zambian copper belt [A]. In: Wolf K Hed. *Handbook of stratabound and stratiform ore deposits* [C]. Elsevier, Amsterdam, 1976. 223-352.
- [7] Jowett E C. Effects of continental rifting on the location and genesis of stratiform Cu-Ag deposit [A]. In: Boyle R W, *et al.* eds. GAC Special Paper 36 [C]. 1989. 53-56.
- [8] Eugster H P. Geochemical environments of sediments of sediment-hosted Cu-Pb-Zn deposits [A]. In: Boyle R W, *et al.* eds. GAC Special Paper 36 [C]. 1989. 111-126.
- [9] Oszczepalski S. Kupferschiefer in southwestern Poland [A]. In: Boyle R W, *et al.* eds. GAC Special Paper 36 [C]. 1989. 571-600.
- [10] Hayes T S, Einaudi M T. Genesis of the Spar Lake Cu-Ag deposit, Montana [J]. Part I. *Econ. Geol.*, 1986, 81: 1899-1931.
- [11] Chartrand F M, Brown A C, Kirkham R V. Diagenesis, sulphides, and metal zoning in the Redstone copper deposit, Northwest Territories [A]. In: Boyle R W, *et al.* eds. GAC Special Paper 36 [C]. 1989. 189-206.
- [12] 华仁民. 试论层状铜矿床的三种主要成因模式 [J]. *地质论评*, 1995, 41(2): 112-120.
- [13] 何明勤, 宋焕斌, 冉崇英, 等. 云南兰坪金满铜矿床改造成因证据 [J]. *地质与勘探*, 1998, 34(2): 13-15.
- [14] 李峰. 兰坪—思茅盆地铜矿床区域控矿因素 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 1994, 3(6): 321-327.
- [15] 阙梅英, 程敦模, 张立生, 等. 兰坪—思茅盆地铜矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1998. 109.
- [16] 颜文, 李朝阳. 一种新类型铜矿床的地球化学特征及其热水沉积成因 [J]. *地球化学*, 1997, 26(1): 55-63.
- [17] Hedenquist J W, Henley R W. Hydrothermal eruptions in Waiotapu geothermal system, New Zealand: their origin, associated breccias and relation to precious metal mineralization [J]. *Econ. Geol.*, 1985, 80: 1640-1648.
- [18] 肖荣阁, 李朝阳. 云南兰坪啦井温泉喷流沉积矿化体的发现及其地质意义 [J]. *地质论评*, 1993, 39(1): 73-78.
- [19] Krupp R E, Seward T M. Transport and deposition of metals in the Rotokawa geothermal system, New Zealand [J]. *Mineralium Deposita*, 1990, 25: 73-81.

- [20] White D E. Active geothermal system and hydrothermal ore deposit [J]. *Econ. Geol.*, 1981, 75: 392-423.
- [21] Graff J L Jr. Rare elements as hydrothermal traces during the formation of massive sulfide deposits in volcanic rocks [J]. *Econ. Geol.*, 1977, 72: 527-548.
- [22] 尹汉辉, 范蔚茗, 林舸. 云南兰坪—思茅地洼盆地演化的深部因素及幔-壳复合作用 [J]. *大地构造与成矿学*, 1990, 14 (2): 113-124.
- [23] 林舸, 范蔚茗, 尹汉辉. 中国滇西兰坪—思茅地洼盆地内中轴断裂带的初步研究 [J]. *大地构造与成矿学*, 1991, 15: 15-21.
- [24] Nelson C E. Hydrothermal eruption mechanism and hot spring gold deposits [J]. *Econ. Geol.*, 1985, 80: 1639-1663.
- [25] Spycher N F, Reed M H. Evolution of a broadbands-type epithermal ore fluid along alternative p-T paths [J]. *Econ. Geol.*, 1989, 84: 328-359.
- [26] Cooke D R. Numerical models of mineral deposition for the acupan vein system, Philippines [A]. In: Kharada, Maest (eds.). *Water-rock interaction* [C]. Rotterdam: Balkem, 1992. 1579-1582.
- [27] 李朝阳, 季红兵. 陆相热水沉积矿床的特征 [A]. 见: 胡瑞忠主编. *矿床地球化学研究* [C]. 北京: 地震出版社, 1994. 102-104.
- [28] 李朝阳, 王京彬, 肖荣阁, 等. 滇西地区陆相热水沉积成矿作用 [J]. *铀矿地质*, 1993, 9(1): 14-21.

## METALLOGENIC MECHANISM OF COPPER DEPOSITS FORM SANDSTONE AND SHALE IN LANPING-SIMAO BASIN, WESTERN YUNNAN

LIU Jia-jun, LI Chao-yang, PAN Jia-yong, LIU Xian-fan, LIU Yu-ping  
(*OLODG, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*)

**Abstract** The copper deposits, occurring in Lanping-Simao basin of western Yunnan, belong to a new type of copper deposit closely associated with continental exhalation and show many unique features. Because of being occurred in the Mesozonic and Cenozonic clastic rock formation composed of sandstone, siltite and shale, the copper deposits are comparable with the typical sandstone and/or shale-type copper deposits in the world. However there are obvious differences between the both in copper occurrence forms, element and mineral paragenesis, REEs and their patterns, and isotopic compositions. Many features of the copper deposit are similar to that of hydrothermal mineralization areas. The copper deposits are special in metallogenic mechanism.

**Key words** sandstone and shale; copper deposit; Metallogenic mechanism; Lanping-Simao basin; western Yunnan