

# 大姚铜矿白垩系马头山组砂岩类的地球化学特征及成岩成矿背景分析<sup>①</sup>

甘凤伟<sup>1,2</sup>, 方维萱<sup>2</sup>, 王训练<sup>1</sup>, 韩润生<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 有色金属矿产地质调查中心北京地质调查所, 北京 100012;  
3. 昆明理工大学, 昆明 650093)

**摘要:**分析大姚铜矿砂岩类的常量元素, 反映其成岩成矿的构造背景, 砂岩铜矿中碎屑岩的常量元素特征主要受物源区控制。大姚砂岩铜矿成矿受氧化—还原环境控制, 分析大姚六苴矿床岩石和矿石样品的  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值与铜元素含量之间的关系, 探讨砂岩铜矿的氧化—还原环境特征, 从而建立大姚砂岩铜矿的地球化学相。

**关键词:**砂岩铜矿; 成岩成矿; 地球化学特征; 常量元素; 构造背景; 地球化学相; 大姚; 云南

**中图分类号:** P618.41; P611.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5663(2006)04-05-0340-08

利用碎屑岩岩石地球化学成分分析可以有效地判别其沉积时的构造背景及源区的地壳活动性等。上世纪70年代以来, Crook 等通过碎屑岩成分与板块构造环境关系的研究发现, 不同板块构造环境具有不同的物质组成, 并控制着岩石的矿物成分和地球化学成分<sup>[1~4]</sup>。Bhatia 等在研究东澳大利亚古生代浊积岩的基础上, 提出了不同沉积盆地构造背景下的地球化学常量元素判别图, 效果较好。Roser 等在研究新西兰古生代浊积岩时, 建立并应用了  $K_2O/Na_2O$  值和  $SiO_2$  的双变量图解, 对不同板块构造背景下形成的砂岩进行判别, 效果也较好<sup>[5~7]</sup>。但挥发分对判别结果有所影响, 因此, 应将岩石化学成分换算成无挥发分, 效果会更好<sup>[8]</sup>。不同学者<sup>[9~15]</sup>先后利用不同地区砂岩类常量元素进行了构造背景的判别, 并得到了一些十分有益的认识。

陆源砂岩类是陆相沉积盆地的主要充填物, 其成分主要受物源区母岩成分控制。通过系统分析砂岩类成分特点, 可以再造沉积盆地的构造演化历史。在沉积建造中, 陆源砂岩类不仅保留着源区母岩的相关信息, 也直接记录了沉积盆地构造演化轨迹, 通过分析砂岩的化学成分, 可以对盆地所处大地构造位置等问题进行准确的分析和判断<sup>[16]</sup>。云南楚雄中生代沉积

盆地是我国砂岩型铜矿的主要含矿沉积盆地, 也是我国中生代陆相红层发育完全、地质研究历史较早的地区之一, 但对楚雄中生代沉积盆地的原型盆地和构造属性认识上分歧较大<sup>[17~37]</sup>, 其中代表性观点有裂谷盆地<sup>[17~20]</sup>、前陆盆地或弧后前陆盆地<sup>[21~35]</sup>, 然而, 方维萱等<sup>[36]</sup>和张志斌等<sup>[37]</sup>提出了楚雄三叠纪沉积盆地应属哀牢山造山带的后陆盆地的最新认识。本文从大姚六苴铜矿马头山组砂岩地球化学特征研究入手, 进一步探讨砂岩铜矿成岩成矿背景。

## 1 矿区地质特征

大姚六苴铜矿区<sup>[38~39]</sup>位于楚雄盆地偏北, 大雪山背斜南端。范围北起美苴坡、南至独家村, 西起鱼诸乍、东至十二丫口。南北长 13km, 东西宽 6km, 呈半环形带状展布。矿区矿床、矿点均分布于背斜轴向转折地带的西翼及南倾没端。主要矿床(点)有六苴、石门坎、岩子口、落及木乍等(图 1)。

矿区主要出露的地层有侏罗系上统蛇甸组( $J_3s$ )、妥甸组( $J_3t$ ); 白垩系下统高峰寺组( $K_{1g}$ )、普昌

① 收稿日期: 2006-04-05 作者简介: 甘凤伟(1980-), 男, 在读硕士研究生, 地层古生物专业。  
项目名称: 云南省大姚县六苴铜矿小河—石门坎矿段解体资源勘察; 项目编号: 200453001。

河组( $K_1p$ ),白垩系中统马头山组( $K_2m$ )、白垩系上统江底河组( $K_3j$ )。但蛇甸组、江底河组在矿区出露不全。其中主要含矿地层为马头山组六苴下亚段( $K_2ml_1$ ),本层探明储量占矿区探明储量的78%。

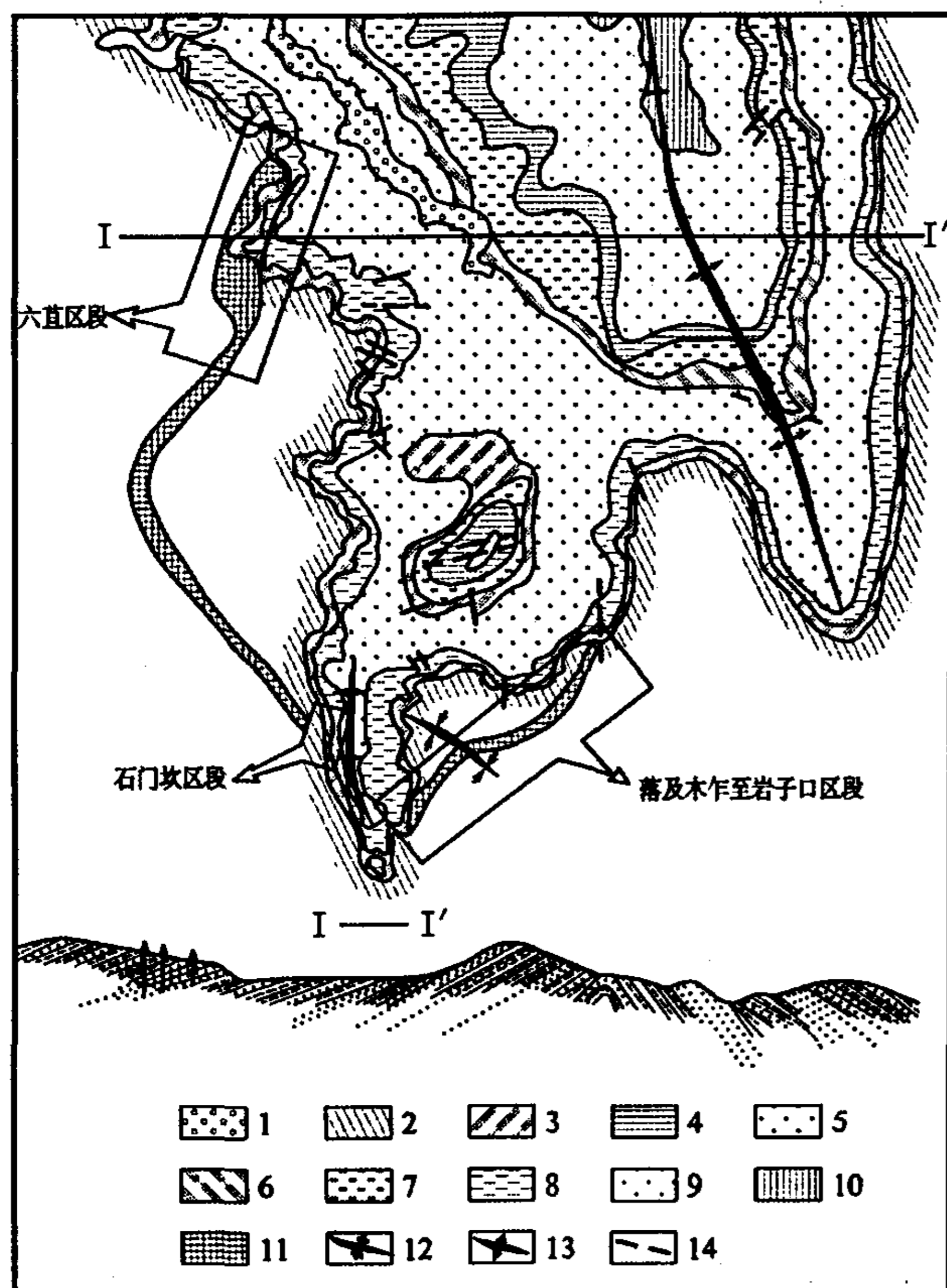


图1 六苴矿床地质图(据刘昌辉等<sup>[38]</sup>,1976)

Fig. 1 Geological map of Liuju deposit (after Liu Changhui et al.<sup>[38]</sup>,1976)

- 1—第四系 2—白垩系江底河组苴美段 3—白垩系马头山组大村段 4—白垩系马头山组六苴段 5—白垩系普昌河组 6—白垩系高峰寺组凹地苴段 7—白垩系高峰寺组者那么段 8—白垩系高峰寺组美宜坡段 9—侏罗系妥甸组 10—侏罗系蛇甸组 11—矿体 12—向斜 13—背斜 14—断层

六苴下亚段( $K_2ml_1$ ):岩性为一套紫红色—浅灰色、中—细粒长石石英砂岩,夹薄—中厚层状粗砂岩、含砾—砾石质砂岩。砾石成分以石英岩、砂岩为主,次为燧石、粉砂岩等,砾径为0.3~3cm,半圆状、次棱角状。可见细水平层理,厚度为25~60m。

次含矿层六苴中亚段( $K_2ml_2$ ):以紫红色泥岩与细砂岩互层为主。在矿床北段局部夹灰色石英砂岩,并有零星矿化。西侧矿体尖灭于紫色砂岩中,东侧矿体分枝尖灭于浅色岩石中。

### 3 楚雄中新生代沉积盆地分析

#### 3.1 地层格架

大姚铜矿区位于楚雄中生代沉积盆地中北部(图2),不同时期具有不同盆地动力学特征和演化历史<sup>[36~37]</sup>(表1),沉积盆地的充填历史为深水复理石建造→浅海相碎屑岩和碳酸盐岩→海相磨拉石建造→陆相磨拉石建造,总体显示沉积水体逐渐变浅的趋势,砂岩铜矿形成与盆地的磨拉石建造有关。

楚雄盆地的碎屑沉积厚度大于万米,地层在平面上的分布自盆地边缘向中心时代渐新(从三叠纪→侏罗纪→白垩纪),厚度增大(图1、图2,表1)。地层主要为三叠系上统云南驿组( $T_3y$ )和一平浪煤组( $T_3yi$ ),侏罗系下统冯家河组( $J_1f$ ),侏罗系中统张河组( $J_2z$ )和侏罗系上统蛇甸组( $J_3s$ )、妥甸组( $J_3t$ ),白垩系下统高峰寺组( $K_1g$ )、普昌河组( $K_1p$ ),白垩系中统马头山组( $K_2m$ )和白垩系上统江底河组( $K_3j$ )。垂向上由下而上为“煤-铜-盐”三色建造共存,即下部三叠系含煤,中部白垩系含铜,上部第三系含盐。盆地西界和北界为永胜大断裂和红河大断裂所限,东界为元谋—绿汁断裂,周缘群山环绕,北部和东部分别是元谋古陆和易门高地,西部和南部为哀牢山隆起变质带。

#### 3.2 中白垩世岩相学类型划分及其特征

研究区中白垩统马头山组由六苴段和大村段组成<sup>[38]</sup>(图3)。六苴段由砾岩,含砾砂、泥岩,砂岩,粉砂岩及泥岩组成,垂向粒度变化总体表现为下粗上细,暗示沉积水体总体向上加深。六苴段下部为河流环境,中部为滨湖过渡环境,上部为浅湖环境。大村段底部为底砾岩,属河流环境特征;向上以含膏粉砂岩和含膏泥岩为主,属浅湖蒸发环境特征。

从下到上,总体相序为河流相→滨湖相→河流相→浅湖蒸发相。六苴下亚段以紫红色、灰紫色砾岩和含砾砂岩,灰紫色、浅灰色中粗砂岩为主,砾岩与中—细粒砂岩组成的下粗上细的半韵律结构明显,常见大型槽状交错层理、平行层理,底部常见冲刷构造,表现出河流环境特征,沉积水体总体向上加深。六苴中亚段以紫红色—灰紫色含砾、含粗砂泥岩、粉砂岩及浅灰、灰紫色细粒砂岩为主,砾石粒度为2mm~1cm,成分单一,磨圆、分选较好,垂向粒度变化总体表现为向上变细,暗示沉积水体总体向上加深趋势,粉砂岩、泥质岩中见水平层理,具有滨湖环境特征。六苴上亚段以紫红色厚层状泥质粉砂岩和粉砂质泥岩为主,暗示沉积水体相对稳定,具有浅湖环境特征。大村段底部为0.2~0.5m厚的灰绿色复矿砾岩,向上岩性以

表1 地层格架与沉积盆地简表

Table 1 Table of strata framework and sedimentary basin

地层时代	盆地性质与演化特征	岩相类型与岩石组合	沉积环境
第三纪	沉积盆地消亡封闭、萎缩挤压变形演化为山间沉积盆地	以紫红、鲜红色砂质泥岩及泥岩为主,底部夹黄、米黄色厚层长石石英砂岩、泥岩	沉积水体持续变浅,山间河流沉积
白垩纪	沉积盆地沉积充填体,主要为一套大陆边缘的陆相碎屑岩,厚度大于千米,其沉积环境变迁和沉积相变反映了楚雄后陆盆地的形成、发展和萎缩全过程	江底河组由上杂色泥岩段和下紫色粉砂岩段组成	沉积水体相对稳定,浅湖相沉积
		马头山组上部为紫红色厚层中粒石英砂岩夹粉砂及砂质泥岩,下部为暗紫色厚层砂岩,底部具砾岩	沉积水体向上变深,河流相、河湖相沉积
		普昌河组上部为紫红色中薄层细粒泥质砂岩与泥岩互层;中部为紫红、黄绿色泥岩夹多层灰色泥灰岩,组成杂色条带;下部为紫红色泥岩和砂质泥岩,夹黄绿色细条带或团块	沉积水体深度最大,相对湖泛期,含碳泥质岩代表了深湖相沉积
		高峰寺组为以灰、灰黄、灰绿色厚层石英砂岩为主,夹紫红或紫灰色泥岩、粉砂岩、细砾岩、粗砂岩的岩层,底部具砾岩	沉积水体向上加深,为河湖交替相沉积
侏罗纪		以紫红色砂岩、砂质泥岩和灰白色灰泥岩、页岩为主	沉积水体向上加深,为湖相—湖泊三角洲相沉积
三叠纪		以灰色砂岩、黄绿色页岩、粉砂岩、灰岩夹白云岩为主	沉积水体逐渐变浅,为滨湖相、浅湖相及潮坪相沉积
前三叠纪	被动大陆边缘构造层,主要出露于盆地的周围和隐伏于盆地褶皱基底之上 褶皱基底构造层,主要出露于盆地周边和隐伏于被动大陆边缘构造层之上	岩性为基性海陆过渡相玄武岩、碎屑岩类、碳酸盐岩类等 岩性为碳酸盐岩类、碎屑岩类、基性火山岩、次火山岩等	

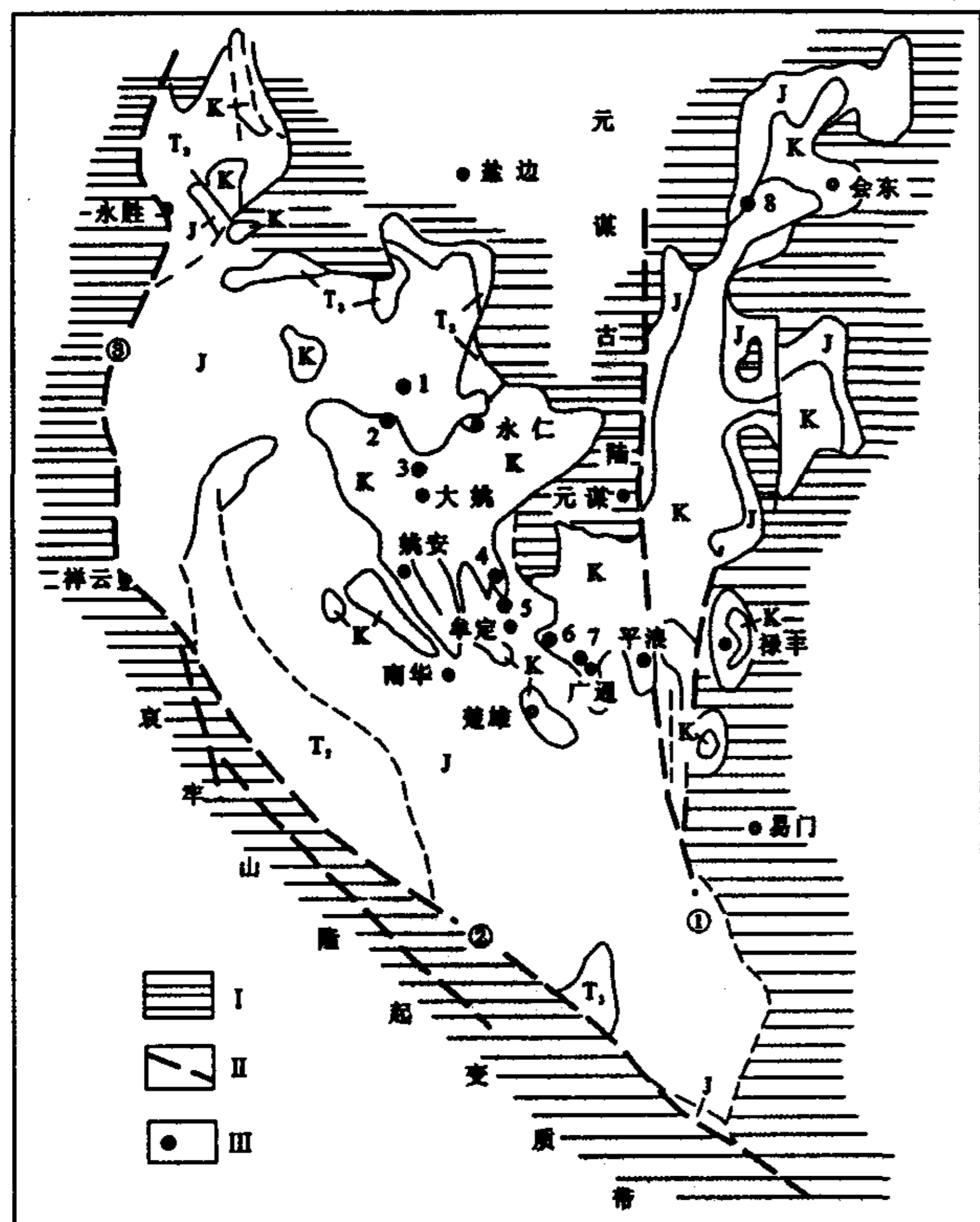


图2 楚雄沉积盆地地质示意图(据丁俊华等<sup>[40]</sup>,1992)

Fig. 2 Regional geological sketch map of Chuxiong sedimentary basin (after Ding Junhua<sup>[40]</sup> et. al,1992)

I—古陆区 II—断裂:①元谋—绿汁江断裂 ②红河大断裂 ③永胜大断裂 III—矿床及编号:1—团山 2—大村 3—六直 4—铜厂箐 5—郝家河 6—格依乍 7—老青山 8—大铜厂

灰绿色、紫红色含膏泥质粉砂岩和粉砂质泥岩为主;底部砾岩可能形成于河流环境,含膏泥质粉砂岩和粉砂质泥岩可能形成于浅湖蒸发环境,由六直上亚段粉砂质泥岩→大村段底砾岩→大村段粉砂质泥岩,岩石粒度跳跃式变化,暗示沉积水体快速变浅再快速加深,可能是由于沉积盆地快速抬升与沉降所造成。

### 3.3 样品采集和分析

样品采集分三个部分:(1)在大姚铜矿大仓沟废石堆场公路北侧露头剖面的白垩统马头山组岩相类型与地层格架清理和实测基础上进行采样;(2)在29 N下1孔岩芯描述过程中采集;(3)在大姚铜矿六直矿床1500水平绕道坑道观测过程中采集。涉及地层包括中白垩统马头山组和下白垩统普昌河组样品。包括8个砂岩样品,岩性为长石砂岩、岩屑砂岩、长石石英砂岩和岩屑石英砂岩,2个粉砂质泥岩样品(表2)。样品由有色金属西北矿产地质测试中心加工和测试,使用ICP—AES进行常量元素分析,使用ICP—MS进行Cu元素分析。

### 3.4 岩石地球化学特征及成岩成矿背景分析

从表3看,本区碎屑岩中 $w(\text{SiO}_2)$ 值范围为50.80%~90.45%,除粉砂质泥岩(K5、K10)外,其余砂岩样品的 $w(\text{SiO}_2)$ 值为67.35%~90.45%。烧失量(L.O.I)范围为1.30%~12.00%,紫红色泥质粉砂(K5)和浅灰紫色中粒长石石英砂岩(K9)烧失量含

量较高。因此,在进行碎屑岩形成的构造背景地球化学判别时,应将所有样品中烧失量扣除,然后进行地球化学判别。

系	统	组	段	厚度 (m)	柱状图	矿层	岩性描述
白垩系	K <sub>2</sub>	马头山组	江底河组	下杂色泥岩段 K <sub>2j</sub>	>770		紫红、黄、砂绿色泥岩夹粉砂岩、局部含铜。
			大村段 K <sub>2md</sub>	上亚段 K <sub>2mi</sub>	14-50		灰、灰黑至灰绿色泥岩夹粉砂岩,底部有0.2~0.5m厚矿层,顶部有0.3m粉-细砂岩,在区域上是主要含铜层之一,在矿区内未发现工业矿层。
				中下段 K <sub>2mi</sub>	20-30		紫红色厚层状泥岩,顶部常变为浅灰及绿灰色砂质泥岩,为区内次要含铜层位。
			直段 K <sub>2mi</sub>	中下段 K <sub>2mi</sub>	45-80		紫红色泥岩与细粒砂岩互层,局部夹灰色长石英砂岩,为区内次要含铜层位。
				下亚段 K <sub>2mi</sub>	25-60		紫色、浅灰色细粒长石英砂岩,夹粗砂岩及砾岩-砾石质砂岩,区内主要含铜层位。
			K <sub>1</sub>	普昌河组	第四段 K <sub>1p</sub>	67-110	
	第三段 K <sub>1p</sub>	57-148				紫色夹浅色薄层粉砂岩,砂质泥岩,浅色层薄而不稳定,向下层数增多。	
	第二段 K <sub>1p</sub>	85-195				紫、浅灰色粉砂岩,砂质泥岩互层,紫浅各半,顶底均有一层厚而稳定的浅色层,底部浅色中局部含铜。	
	第一段 K <sub>1p</sub>	86-205				紫色夹薄层浅色粉砂岩,底部浅色层增多增厚,中部浅色层中局部含铜。	
	高峰寺组	四亚段 K <sub>1gw</sub>		3-28		紫-浅灰色粉砂岩,砂质泥岩互层,夹细-中砂岩,含砾砂岩,区内次要含铜层位。	
		中下段 K <sub>1gw</sub>		1-10		紫色砂质泥岩,夹砾岩透镜体,局部含铜。	
		下亚段 K <sub>1gw</sub>		14-45		紫-浅灰色砂质泥岩,细砂-砾石质粗砂岩,正向韵律发育,是区内主要含铜层位。	
		普纳么段 K <sub>1gz</sub>		160-240		紫红砂质泥岩,夹紫-浅灰色砂岩,上部砂岩逐渐增多至成互层状,区内次要含铜层位。	
	K <sub>1g</sub>	美宜坡段 K <sub>1gm</sub>	40-100		紫红、浅灰色细-粗粒含砾砂岩,砂质泥岩,某些地段可划分为三个岩性亚段,局部含铜。		
杂色泥岩段 J <sub>1j</sub>			280		黄灰、灰绿色及紫色泥岩夹泥灰岩。		
侏罗系	J <sub>2</sub>	上统 J <sub>2f</sub>	紫色泥岩段 J <sub>2f</sub>	358		紫红色泥岩、砂岩及泥灰岩。	
		中统 J <sub>2s</sub>	蛇甸组 J <sub>2s</sub>	>662		紫红色、灰白色石英砂岩夹泥岩,部分地区上部夹砾岩。	

图3 大姚铜矿区综合柱状图(据孟祥化等<sup>[41]</sup>,1979)  
Fig. 3 Column map of Dayao copper mining area (after Meng Xianghua<sup>[41]</sup> et. al,1979)

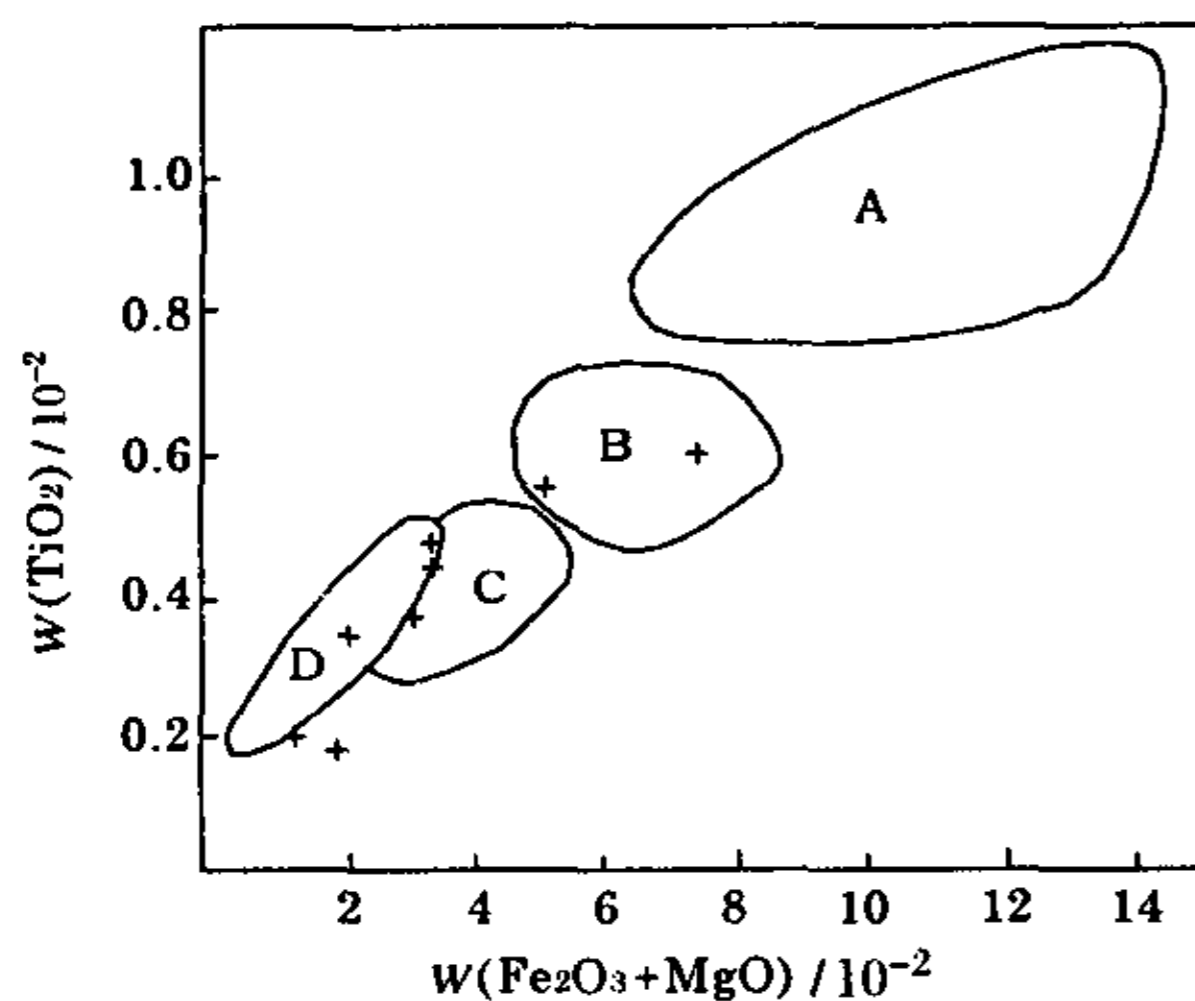


图4 楚雄盆地马头山组砂岩常量元素组成构造背景判别图<sup>1)</sup>  
(据 Bhatia M R,1983)

Fig. 4 Tectonic discriminated diagram for major elements of sandstones in Mato ushan formation of Chuxiong basin (After Bhatia M R,1983)

A-海洋岛弧 B-大陆岛弧 C-活动大陆边缘 D-被动大陆边缘 + -本区样品

注:1)扣除挥发分后重新计算化学组成,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为全铁。

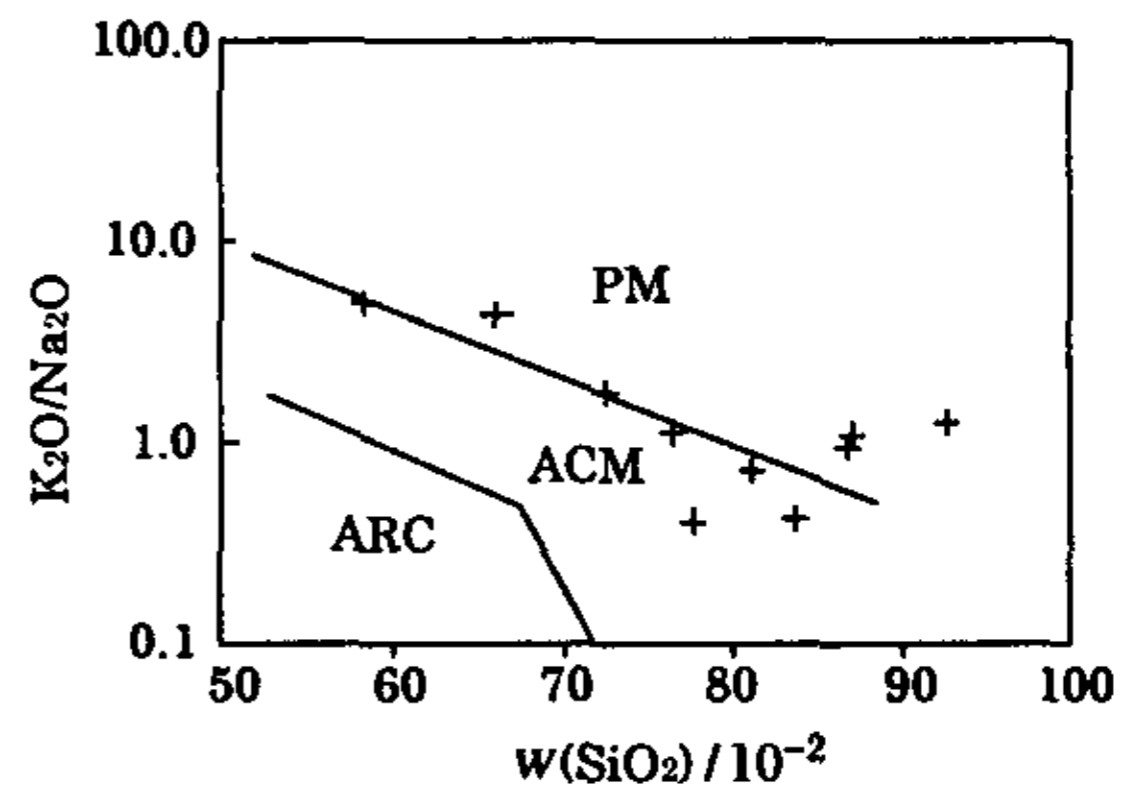


图5 楚雄盆地马头山组砂岩和泥质岩的构造背景判别图<sup>1)</sup>(据 Roser B P,1986)

Fig. 5 Tectonic discriminated diagram for sandstones and mudstones of Matoushan formation in Chuxiong basin (After Roser B P,1986)

PM-被动边缘 ACM-活动大陆边缘 ARC-海洋岛弧 + -本区样品

注:1)扣除挥发分后重新计算化学组成

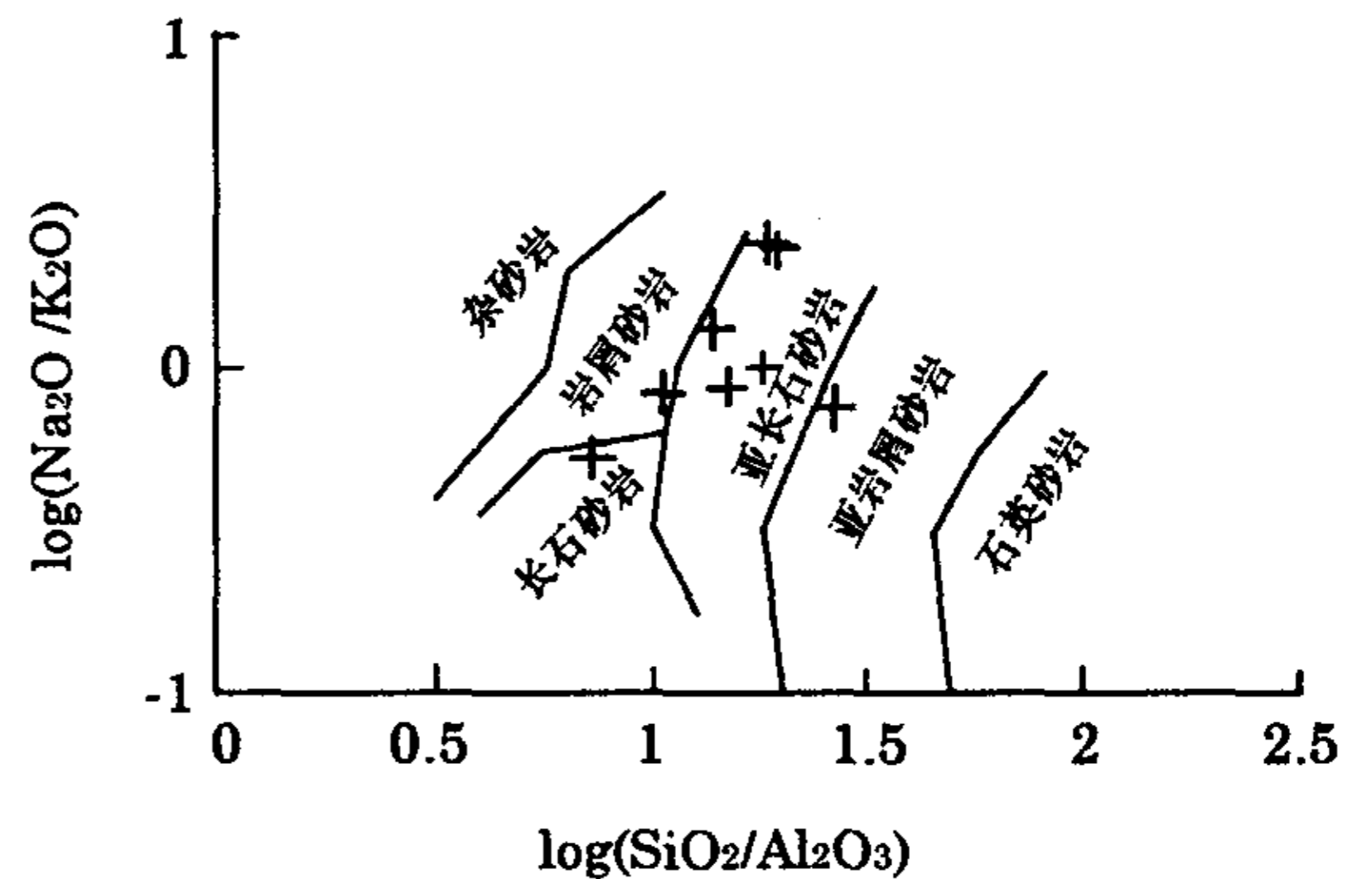


图6 根据 log(Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O)与 log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)对楚雄盆地马头山组砂岩分类图

(据 Pettijohn et al. <sup>[42]</sup>,1972)

Fig. 6 The classification of sandstones in Matoushan formation of Chuxiong basin using log(NaO/K<sub>2</sub>O)vs log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (after Pettijohn et al. ,1972)

Graywacke-杂砂岩 Arkose-长石砂岩 Litharenite-岩屑砂岩 Subarkose-亚长石砂岩 Sublitharenite-亚岩屑砂岩 Quartz Arenite-石英砂岩 + -本区样品

由于 K5、K10 为粉砂质泥岩,所以图 4 为其余 8 个砂岩样品的图解,可以看出,有 2 个样品投点于大陆岛弧背景,6 个样品投点于被动大陆边缘背景范围内。在图 5 中,4 个样品投点位于活动大陆边缘背景,其余 6 个样品投点位于被动大陆边缘背景范围内。因此,从图 4 和图 5 看,本区物源主体为活动大陆边缘和被动大陆边缘。由表 3 和图 6 可知,本区样品中  $w(\text{SiO}_2)$  值较低(67.35%~90.45%), $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  值较高(3.44%~13.14%), $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  值较低, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  值较高,岩性为长石砂岩、岩屑砂岩、亚长石砂岩、亚岩屑砂岩,主体属亚长石砂岩,成分成熟度为中

等一较低。一般来讲,随着沉积物搬运距离逐渐增大,成分成熟度高, $w(\text{SiO}_2)$ 值高, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值逐渐降低, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值逐渐增高;沉积物搬运距离越小,成分成熟度越低, $w(\text{SiO}_2)$ 值一般低, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值一般较

高(主要为泥质和长石质碎屑引起), $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值一般变低, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值一般增大,所以本区岩石可能距蚀原岩区(物源区)的距离较近,沉积物没有经过长距离搬运,揭示楚雄后陆沉积盆地物源特征。

表 2 样品位置及其地质特征

Table 2 Geological Characteristics and locations of samples

样号	地理位置	地层及代号	地质特征
K5		中白垩统马头山组六苴上亚段 $K_2ml_3$	紫红色粉砂质泥岩
K9	36.0m		浅灰紫色中粒长石石英砂岩
K10	29N下1孔 42.3m	中白垩统马头山组六苴中亚段 $K_2ml_2$	紫红色粉砂质泥岩夹灰绿色细、粉砂岩,见负荷构造、成岩后期方解石脉
K16	59.5m		浅灰色岩屑长石细砂岩,见辉铜矿、黄铜矿
D4	大仓沟露头剖面	中白垩统马头山组六苴下亚段 $K_2ml_1$	浅灰色粗粒含细砾长石砂岩,砾石成分简单,以长石砂岩为主,碎屑颗粒磨圆、分选较差
D7	大仓沟露头剖面	中白垩统马头山组六苴下亚段 $K_2ml_1$	浅灰色中细粒石英砂岩,见星点状黄铁矿
J8	六苴矿床 1500 水平绕道	中白垩统马头山组六苴下亚段 $K_2ml_1$	紫红色中细粒岩屑砂岩,岩屑成分多为钙质,颗粒有一定磨圆、分选一般
K24	29N下1孔 93.6m	中白垩统马头山组六苴下亚段 $K_2ml_1$	灰紫色中粒复砾石质长石石英砂岩,砾径 2mm~6mm,砾石成分主要为石英岩、砂岩等,砾石有一定磨圆,分选一般
K30	29N下1孔 109.07m	中白垩统马头山组六苴下亚段 $K_2ml_1$	灰紫色粗粒含复砾岩屑砂岩,砾石成分为石英岩、砂岩等,砾石磨圆较好、分选一般,碎屑颗粒磨圆较差,分选一般
K35	29N下1孔 118.8m	下白垩统普昌河组 $K_{1p}$	紫红色复砾石粉砂岩,砾径 2mm~6mm,砾石以石英岩为主,磨圆、分选较好

表 3 岩石化学成分表

Table 3 Table of petrochemical compositions

样号	K35	K24	D4	K9	D7	J8	K10	K5	K30	K16
$\text{SiO}_2$	67.35	84.20	90.45	68.95	76.75	82.48	61.20	50.80	77.20	71.40
$\text{TiO}_2$	0.57	0.46	0.20	0.33	0.42	0.33	0.70	0.72	0.17	0.52
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9.16	5.61	3.44	3.76	5.61	4.64	13.14	11.66	3.94	6.81
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.98	1.88	0.61	0.80	0.95	0.59	3.45	3.71	0.63	1.97
FeO	1.23	0.74	0.45	0.85	1.00	0.72	2.19	1.96	0.76	1.36
MgO	2.56	0.52	0.18	1.01	1.12	0.60	3.33	4.11	0.38	1.31
CaO	5.82	0.72	0.63	10.93	5.57	4.52	3.76	9.64	7.38	7.05
$\text{Na}_2\text{O}$	1.13	1.20	0.71	1.28	1.57	0.64	0.87	0.69	1.27	1.38
$\text{K}_2\text{O}$	2.11	1.37	0.93	0.53	1.18	0.63	3.91	3.55	0.56	1.64
L. O. I <sup>1)</sup>	6.88	2.20	1.30	10.40	5.32	4.64	6.40	12.00	6.50	6.04
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.09	0.04	0.02	0.04	0.06	0.03	0.14	0.12	0.02	0.02
S	0.10	0.10	0.10	0.48	0.44	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cu									0.06	0.04
$[\text{Fe}_2\text{O}_3^{2)} + \text{MgO}]^{3)}$	7.27	3.24	1.27	2.99	3.24	2.00			1.91	4.96
$[\text{TiO}_2]^{3)}$	0.61	0.48	0.20	0.37	0.44	0.35			0.18	0.56
$[\text{SiO}_2]^{3)}$	0.72	0.87	0.93	0.77	0.81	0.87	0.66	0.58	0.83	0.76
$[\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}]^{3)}$	1.87	1.14	1.31	0.41	0.75	0.98	4.49	5.14	0.44	1.19
$\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$	0.87	1.18	1.42	1.26	1.14	1.25			1.29	1.02
$\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$	-0.27	-0.06	-0.12	0.38	0.12	0.01			0.36	-0.07
总量	99.97	99.04	99.02	99.37	100.0	99.91	99.19	99.07	98.98	99.62

注: 1) L. O. I 为烧失量。2)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为全铁。3) 为扣除挥发分后重新计算化学组成。

氧化还原相、盐度相、酸碱度相和温度相等是重要的沉积地球化学相类型。刘英俊等<sup>[43]</sup>提出:铁在海相盆地中的沉积具有明显的分布规律,从大陆边缘向海洋深处,沉积物的分布依次是碎屑岩、粘土岩和碳酸盐岩,铁矿物也呈不同矿物相依次分布,即氧化物相、硅酸盐相、碳酸盐相和硫化物相。这样的环境变化可以用地球化学相来说明(表4),但只是采用铁离子相对比例来表述地球化学相,如氧化-还原界面在 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 值为1左右变化的过渡相。

刘昌辉等<sup>[38]</sup>提出,大姚铜矿铜矿石的物质组成和沉积-成岩自生矿物的成分是指示成矿时期地球化学条件的标志(表5),含矿层不同颜色反映不同地带介质的酸碱度和氧化还原环境。在含矿层内,靠近铜矿体部位的全浅色砂岩中, $Fe^{2+}$ 的化合物占优势,主要为黄铁矿,说明其形成介质是碱性、强还原环境;

在浅-紫交互带常表现为 $Fe^{2+}$ 与 $Fe^{3+}$ 化合物共存,主要为赤铁矿和磷绿泥石,应属弱氧化、弱还原环境;全紫带岩石中,以 $Fe^{3+}$ 占优势,胶结物中有多量赤铁矿、水赤铁矿及氢氧化高铁出现,说明其介质属酸性氧化环境。但其弱氧化相中,氧化还原系数( $Fe^{2+}/[Fe^{3+}+Fe^{2+}]$ )为0.78~0.80,换算为 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 值在3.55~4,明显具有弱还原环境特征(表5)。

氧化-还原环境对铜富集成矿具有较大的控制作用,可以通过氧化-还原环境与Cu的聚集关系来分析含铜碎屑岩的成岩成矿环境。关于地球化学相的定量划分方案正在探索之中,目前尚无统一标准。但从表6和 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 值与Cu含量趋势图(图7)看,它们之间的呈线性关系,即 $w(Cu)\% = 0.245(Fe^{2+}/Fe^{3+}) - 0.164$  ( $R=0.916, n(\text{样品数})=17, \alpha(\text{置信度})=5\%, R_0(\text{临界相关系数})=0.482, R>R_0$ )。

表4 铁的沉积地球化学相(据黎彤,1979)

Table 4 Sedimentary geochemical phases of iron(After Li tong,1979)

沉积相	铁离子	主要铁矿物	沉积岩	有机质	Eh	pH
氧化相	$Fe^{3+}$	赤铁矿 褐铁矿 (磁铁矿)	砂质粉砂质碎屑岩,有少量硅质和钙质结核	无	>0.02	7.2~8.5
过渡相	$Fe^{3+}>Fe^{2+}$ 到 $Fe^{2+}>Fe^{3+}$	海绿石 磷绿泥石 (磁铁矿)	砂质粉砂质碎屑岩硅藻土和磷块岩	少	0.2~0.1	
弱还原相	$Fe^{2+}$	磷铁矿 磷绿泥石 铁白云石	泥质沉积 白云岩和石灰岩	多 很多	0.0~-0.3 -0.3~-0.5	7.0~7.8 >7.8
强还原相		黄铁矿 白铁矿	有机质粘土黑色页岩、有机岩			7.2~7.9

表5 六苴矿床地球化学相的划分(刘昌辉等,1976)

Table 5 The classification of geochemical faces in Liu ju deposit (Liu changhui et. al,1976)

地球化学相	岩石颜色	氧化还原系数 <sup>1)</sup>	$Fe^{2+}/Fe^{3+}$ <sup>2)</sup>	主要特征
强氧化相	紫红色	0.42~0.78	0.72~3.55	富含赤铁矿
弱氧化相	紫灰色	0.78~0.80	3.55~4	少量赤铁矿
弱还原相	浅灰、青灰色	0.82~0.90~0.902	4.56~9~9.2	含菱铁矿、白云石、方解石,含铜
强还原相	淡灰绿色 灰绿色	0.91 0.95	10.11 19	富含黄铁矿

注:1) 氧化还原系数= $Fe^{2+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 。2) 根据氧化还原系数换算。

表6 六苴矿床 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 值与Cu元素含量( $\times 10^{-6}$ )

Table 6  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  ratios and the content of element Cu( $\times 10^{-6}$ )in Liuju deposit

样号	K35	K24	D4	K9	D7	J8	K10	K5	J2	D11
$Fe^{2+}/Fe^{3+}$	0.46	0.44	0.82	1.18	1.17	1.35	0.70	0.59	2.81	0.23
$w(Cu)$	10	13	23	27	23	8.4	8.2	25	0.66 <sup>1)</sup>	36
样号	D6	K32	J5	K30	K28	K16	K33	K15 <sup>2)</sup>	J6 <sup>2)</sup>	K29 <sup>2)</sup>
$Fe^{2+}/Fe^{3+}$	1.62	4.28	4.67	1.34	7.41	0.77	5.71	16.71	8.10	4.52
$w(Cu)$	351	1.61 <sup>1)</sup>	1.13 <sup>1)</sup>	604 <sup>1)</sup>	1.47 <sup>1)</sup>	391	0.90 <sup>1)</sup>	1.47 <sup>1)</sup>	4.37 <sup>1)</sup>	7.58 <sup>1)</sup>

注:1.  $w(Cu)$ 的量单位为 $\times 10^{-6}$ , 1) $w(Cu)$ 的量单位为 $\times 10^{-2}$ 。2)表示样品 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 与Cu元素含量呈非线性关系。

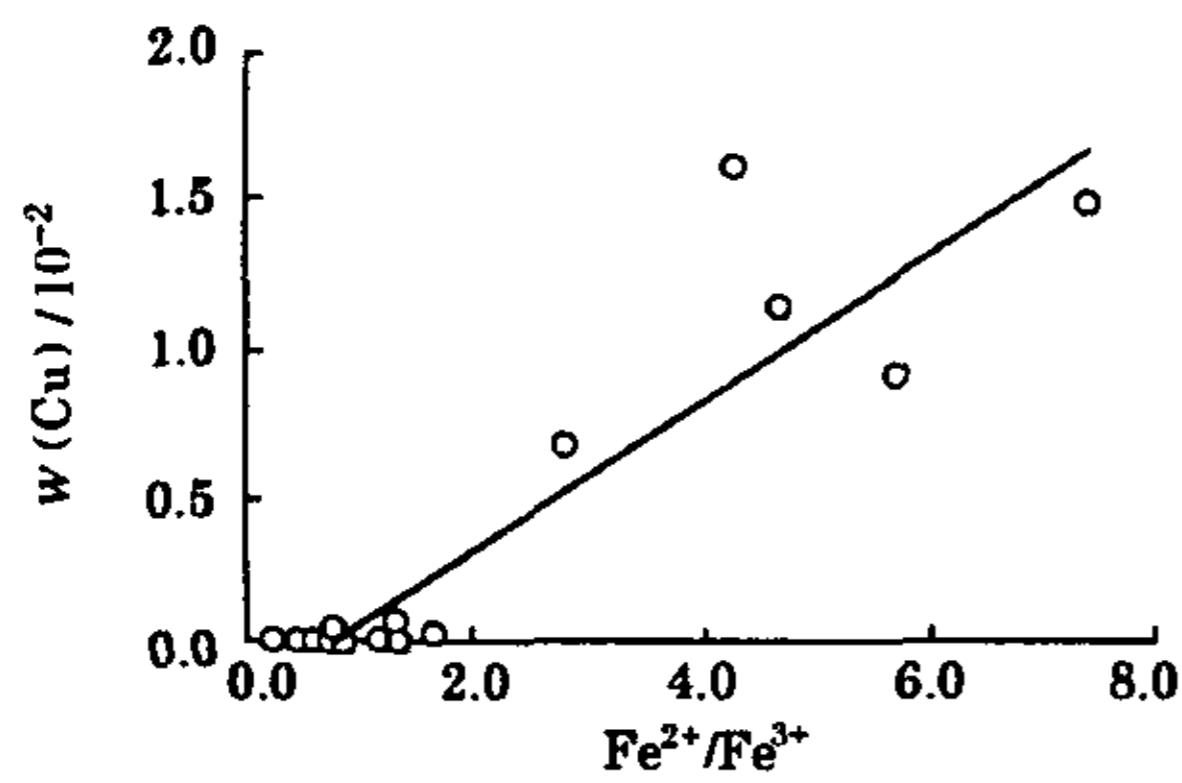


图7 六苴矿床岩石—矿石中  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  比值与铜含量之间关系图

Fig. 7 The correlation of  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  and Cu% in rock and ore of Liuju deposit

由表7和图7可知,(1) $Fe^{2+}/Fe^{3+} < 0.7$ ,属于强氧化相,铜不发生富集;(2) $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值在  $0.7 \sim 1.2$  属弱氧化相,铜也不发生富集;(3) $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值在  $1.2 \sim 2.8$  之间,属于氧化—还原过渡相,铜在碎屑岩中发生富集;(4) $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值在  $2.8 \sim 5$  之间,属弱还原相,铜在碎屑岩中发生富集成矿;(5) $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值  $> 5$  属于强还原相,铜在碎屑岩中形成明显的富集成矿。这可能是随着沉积盆地中成矿流体改造作用的增强, $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值记录了这种成矿流体改造作用,铜矿石中有较多的含黄铜矿方解石—石英脉和含黄铜矿方解石脉,也说明成矿环境为强还原环境。将上述特征归纳总结如表7所示。

表7 六苴矿床地球化学相的划分

Table 7 The classification of geochemical phases in Liuju deposit

地球化学相	岩石颜色	$Fe^{2+}/Fe^{3+}$	$w(Cu)$	特征指示矿物
强氧化相	紫红色	$\leq 0.7$	$8.2 \times 10^{-6} \sim 25 \times 10^{-6}$	富含赤铁矿
弱氧化相	浅灰紫色—浅灰色	$0.7 \sim 1.2$	$23 \times 10^{-6} \sim 391 \times 10^{-6}$	含赤铁矿
氧化—还原过渡相	浅灰紫色—浅灰色	$1.2 \sim 2.8$	$8.4 \times 10^{-6} \sim 604 \times 10^{-6}$	黄铁矿含量明显多于赤铁矿
弱还原相	浅灰色、灰色	$2.8 \sim 5$	$0.66\% \sim 1.61\%$	含黄铁矿、辉铜矿、方解石
强还原相	深灰、深灰绿色	$> 5$	$0.9\% \sim 4.37\%$	含辉铜矿、黄铜矿、黄铁矿、菱铁矿、白云石、方解石

## 4 结论

(1)在氧化—还原过渡( $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值在  $1.2 \sim 2.8$ )地球化学相中,铜在碎屑岩中发生富集;在弱还原( $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值在  $2.8 \sim 5$ )和强还原( $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  值  $> 5$ )地球化学相中,铜发生明显富集成矿。

(2)在中三叠世拉丁期,楚雄沉积盆地的构造—古地理位置属后陆盆地(原型盆地),印支运动时楚雄地区演化为三面环山的内陆湖泊环境,沉积盆地范围缩小,沉积盆地的充填历史为深水复理石建造→浅海相碎屑岩和碳酸盐岩→海相磨拉石建造→陆相磨拉石建造,总体显示沉积水体逐渐变浅的趋势。

(3)本区砂岩铜矿的形成与沉积盆地中的磨拉石建造密切相关,该成矿作用以沉积盆地的物源为主体,处在活动大陆边缘和被动大陆边缘,且距蚀原岩区(物源区)的距离较近,沉积物没有经过长距离搬运。

致谢:本次研究的野外工作得到了大姚铜矿阚朝龙高级工程师、李俊荣和李路乔工程师,昆明理工大学吴鹏和朱余银同学的大力支持和热心帮助。

## 参考文献:

- [1] Crook K A W. Lithogenesis and geotectonics; the significance of compositional variations in flussh arenites (graywaches) [C] // Doot R H and Shaver R H. eds. Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation. Tulsa: SEPM Special Publication, 1974, 19: 304-310.
- [2] Schwab F L. Framework mineralogy and chemical composition of continental margin-types and stone [J]. Geology, 1975, 3: 487-490.
- [3] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. AAPG Bull, 1979, 63(12): 2164-2182.
- [4] Valloni R & Maynard J B. Detrital modes of recent deep-sea sands and their relation to tectonic setting; a first approximation [J]. Sedimentology, 1981, 28: 75-83.
- [5] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. Geology, 1983, 92: 611-627.
- [6] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic greywackes and mudracks; provenance and tectonic control [J]. Sedimentary Geology, 1985, 45: 97-113.
- [7] Roser B P. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using  $SiO_2$  content and  $K_2O/Na_2O$  ratio [J]. Geology, 1986, 94: 635-650.
- [8] 方国庆, 刘德良. 复理石杂砂岩的化学组成与板块构造 [J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(3): 105-112.
- [9] 樊金涛. 苏北石桥岩群沉积环境及其大地构造意义探讨 [J]. 江苏地质, 2000, 24(3): 129-134.

- [10] 窦立荣,李建忠,方杰. 利用岩石化学成分判断二连盆地形成的沉积构造环境[J]. 矿物岩石, 1997, 17(1): 50-57.
- [11] 李双应,李任伟,岳书仓,等. 安徽肥西中生代碎屑岩地球化学特征及其物源制约[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 667-676.
- [12] 邵磊, K. Stattegger, 李文厚. 从砂岩地球化学探讨盆地构造背景[J]. 科学通报, 1998, 43(9): 985-988.
- [13] 杜德勋, 罗建宁, 陈明, 等. 巴颜喀拉三叠纪沉积盆地岩石地球化学特征与物源区构造背景的探讨—以阿坝-若尔盖-小金-马尔康及雅江盆地为例[J]. 岩相古地理, 1999, 19(2): 1-20.
- [14] 李志明, 刘家军, 胡瑞忠, 等. 兰坪中生代盆地沉积岩源区构造背景和物源属性研究——砂岩地球化学证据[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 547-552.
- [15] 李曰俊, 孙龙德, 龚福华, 等. 藏北查桑上三叠统复理石沉积大地构造背景的初步探讨[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 443-448.
- [16] 王成善, 李祥辉. 沉积盆地分析原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 86-114.
- [17] 孟祥化, 葛铭等. 沉积盆地与沉积建造[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 106-125.
- [18] 王维贤, 等. 楚雄地区砂岩铜矿成矿预测及靶区优选[R]. 西南有色金属地质勘查局, 1997, 8-43.
- [19] 冉崇英, 庄汉平. 楚雄盆地铜、盐、有机矿床组合地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 19-40.
- [20] 邓宏文, 王洪亮, 翟爱军, 等. 中国陆源碎屑盆地层序地层与储层展布[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 108-114.
- [21] 蒲心纯, 尹福光, 朱同兴. 楚雄前陆盆地的充填层序和造山作用[J]. 岩相古地理, 1996, 16(3): 47-57.
- [22] 朱同兴, 黄志英, 尹福光. 盆山转换与沉积地质记录——以楚雄前陆盆地分析为例[J]. 岩相古地理, 1999, 19(3): 1-15.
- [23] 刘池洋, 赵红格, 杨兴科, 等. 前陆盆地及其确定和研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 303-313.
- [24] 谭富文, 尹福光, 许效松, 等. 楚雄前陆盆地系统的构造单元及沉积标识[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 573-610.
- [25] 朱同兴, 黄志英, 尹福光. 楚雄中生代前陆盆地的构造沉降史研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4): 20-30.
- [26] 万玲, 郭随平, 刘德良. 滇中楚雄盆地构造演化与油气关系[J]. 南京大学学报(自然科学), 1998, 34(3): 322-329.
- [27] 谭富文, 尹福光, 许效松, 等. 楚雄前陆盆地的构造特征与沉积演化[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 8: 345-352.
- [28] 刘贻军, 孟祥化, 葛铭. 云南楚雄前陆盆地晚三叠世沉积建造及盆地演化[J]. 现代地质, 1998, 12(4): 576-581.
- [29] 许效松, 尹福光, 万方, 等. 楚雄盆地性质与沉积层序演化[J]. 岩相古地理, 1999, 19(5): 1-11.
- [30] 陈根文, 吴延之. 楚雄弧后前陆盆地的形成与演化[J]. 云南地质, 1999, 18(4): 392-397.
- [31] 尹福光, 蒲心纯, 朱同兴. 楚雄复式盆地演化及形成的动力学机制[J]. 岩相古地理, 1997, 17(3): 22-35.
- [32] 尹福光, 许效松, 万方, 等. 楚雄前陆盆地的油气特征[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 308-312.
- [33] 尹福光, 万方, 许效松, 等. 楚雄盆地晚三叠世古地理变迁[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 22(3): 52-57.
- [34] 罗志立, 李景明, 李小军, 等. 中国前陆盆地特征及含油气远景分析[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(2): 1-12.
- [35] 王国力, 蔡立国, 汪集琦, 等. 楚雄盆地构造-热演化与古地温场研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 28-38.
- [36] 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 云南哀牢山地区构造岩石地层单元及其构造演化[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 28-36.
- [37] 张志斌, 曹德斌. 滇中楚雄中生代盆地的形成、演化及其与哀牢山造山带的关系—以楚雄西舍路至禄丰碧城镇区域地质综合剖面为例[J]. 地球学报, 2002, 23(2): 129-134.
- [38] 云南省冶金局地质勘探公司. 砂岩铜矿地质[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1977: 1-227.
- [39] 云南楚雄矿冶公司. 云南省大姚六苴铜矿区小河—石门坎矿段深部及近外围接替资源勘查[R]. 2004: 1-46.
- [40] 丁俊华, 王雅芬, 王正云, 等. 云南大姚铜矿银的赋存状态与成矿地质特征[J]. 桂林冶金地质学院, 1992: 1-51.
- [41] 孟祥化, 葛铭, 等. 沉积盆地与建造层序[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 106-111.
- [42] Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. 1972. Sand and sandstone [A]. Berlin: Springer-Verlag. 1972: 1-62.
- [43] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 95-98.

## Geochemical features of sandstones in Matoushan formation of Dayao copper mine and the diagenesis and mineralization background

GAN Feng-wei<sup>1,2</sup>, FANG Wei-xuan<sup>2</sup>, WANG Xun-lian<sup>1</sup>, HAN Run-sheng<sup>3</sup>

(1. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. Institute of Beijing Geology Survey, the Mineral and Geological Exploration Centre of Nonferrous Metals, Beijing 100012, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** The major elements of clastic rocks in sandstone copper deposit are controlled by the tectonic setting of source area. Consequently, it is possible to discriminate the tectonic setting of ore-forming and rock-forming by studying major elements of sandstones in Dayao sandstone copper mine. Forming of Dayao sandstone copper deposit is controlled by redox environment. According to the analysis of the linear relation between ratio of  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  and copper content which come from samples of rocks and ores in Liuju deposit of Dayao mine, features of redox environment were discussed, resulting in establishing the geochemical phases in sandstone copper deposit.

**Key Words:** sandstone copper deposit, major element, geochemical phase, tectonic setting, diagenesis and mineralization, Dayao, Yunnan, geochemical characteristics