文章编号:1000-0550(2019)03-0491-11

楚雄盆地北部桂花铜矿区晚白垩世含矿岩系沉积环境

薛传东,向坤,胡廷银,廖程,杨欣鹏,杨天云露,王磊 昆明理工大学地球科学系,昆明 650093

摘 要 楚雄盆地是青藏高原东缘"三江"构造带与扬子地台西缘结合部重要的含矿沉积盆地之一,以白垩纪地层赋存多个层 位的砂岩型铜矿床为特征而不同于其他沉积盆地,长期备受关注。前人曾从矿床学角度进行砂岩铜矿床成矿作用相关研究,相 对缺乏沉积学方面工作,进而导致对含矿岩系沉积环境及盆地属性和矿床成因认识的分歧。对楚雄盆地北部包括大村铜矿区在 内的桂花地区晚白垩世含矿岩系进行了系统的地表调查、坑道及钻孔观测和沉积环境研究,认为该区上白垩统马头山组和江底 河组是一套连续沉积组合,由河道亚相和边滩亚相沉积共同组成,形成于相对干旱的气候环境;沉积物源区位于盆地的北侧,曾 出露有基性火山岩、花岗质岩石、碎屑岩、碳酸盐岩以及少量的变质岩等;晚白垩世时期,楚雄盆地具有北高南低的古地理格局,且 在江底河组沉积成岩过程中,盆地总体曾经历了区域挤压作用引起的隆升破坏,也是区内砂岩型铜矿床的主要成矿时期。

关键词 沉积相;古地理;沉积物源区;晚白垩世;桂花铜矿区;楚雄盆地

第一作者简介 薛传东,男,1971 年出生,博士,教授,区域成矿学,E-mail: cdxue001@ aliyun.com 中图分类号 P512.2 P618.41 文献标志码 A

0 引言

楚雄盆地位于青藏高原东缘"三江"构造带与扬 子地台西缘的结合部,以赋存有大姚六苴、牟定郝家 河等大型砂岩型铜矿床及盐类、煤炭等矿产资源而长 期备受关注。其中,砂岩型铜矿床主要集中分布于白 垩纪地层中,不仅在白垩纪地层中呈现出多层位容矿 的典型特征,而且相应的矿化特征也存在明显差异。 例如,盆地北部桂花地区的大村、直苴、团山、冶基厂、 树皮厂、摩柏梁子等铜矿床/点的似层状、透镜状矿 体,赋存于上白垩统江底河组底部泥岩及其下伏的马 头山组顶部砾岩和/或含砾砂岩中,以网脉状、斑块 状、星点状矿石为特征;而盆地中南部的大姚凹地苴、 六苴及牟定郝家河等砂岩型铜矿床的似层状、透镜 状、脉状矿体,产于上白垩统马头山组下部层位和下 白垩统高峰寺组的石英砂岩中,以浸染状、条纹状矿 石为特征。尽管前人已经从矿床学角度对这些铜矿 床之间的矿化特征异同进行了对比研究[1-10],并对楚 雄盆地砂岩型铜矿床的成矿作用进行了不同程度地分 析,但是关于赋矿地层相对缺乏岩石组合序列和沉积 环境方面的系统研究。正是由于缺乏沉积相和沉积环 境方面的研究,从而制约了对"三江"构造带成矿作用 与构造演化之间耦合关系认识的理论提升,同时也影响了区域矿产资源评价与找矿勘探工作的进程。

本文以楚雄盆地北部包括大村铜矿区在内的桂 花地区上白垩统作为主要研究区和研究对象,在系统 地区域地质调查和矿区坑道及钻孔详细观测的基础 上,深入研究了该区上白垩统江底河组和马头山组沉 积相、古水流及砾岩和砂岩碎屑组成特征,以期为矿 床成因研究提供证据。

1 地质背景

楚雄盆地北起攀枝花,南至元江县,东抵武定、禄 丰,西至祥云、宾川,平面上呈现近南北向狭长展布, 面积约36000 km²;盆地西南和南侧紧邻哀牢山构造 带,北东和东侧分别与元谋古陆及康滇古陆相邻(图 1a)。盆地基底由元古界昆阳群、震旦系及古生界共 同构成,昆阳群和震旦系广泛出露于盆地周缘,古生 界在盆地中部零星出露;盆地内的主要充填物由中— 新生界陆源碎屑沉积构成(图 1a,b)。其中,三叠系 中产有煤层,侏罗系及白垩系中产有石膏及盐^[11];同 时白垩系是"三江"构造带砂岩型铜矿床的主要含矿 围岩,其多个层位中产有砂岩型铜矿床。近南北向、 东西向及北西向断层在盆地内部发育,同时勘探结果

收稿日期: 2018-04-20; 收修改稿日期: 2018-07-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41373049);中国地质调查局地质调查项目(12120114064301, 1212011020000150011)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41373049; Land Resources Survey Program of the Geological Survey of China, No. 12120114064301, 1212011020000150011]





甸组;9.中侏罗统蛇店组 10.喜马拉雅期花岗(斑)岩;11.铜矿体;12.整合及假整合接触界线;13.地层产状;14.断层及编号;15.泥岩;16.粉砂 质泥岩;17.泥质粉砂岩;18.泥质粉一细砂岩;19.细—中粒砂岩;20.长石石英砂岩;21.中粒砂岩;22.砾岩夹砂岩;23.火山碎屑粉一细砂岩;24. 古水流玫瑰花图;25.剖面位置及编号;26.坑道中段剖面及编号;27.河流;28.村镇

Fig.1 Geological maps of the Chuxiong Basin (a), the Guihua copper orefield (b), and the measured profiles (c,d) 1, 2, 3. 3rd, 2nd, and 1st members of the Upper Cretaceous Jiangdihe Formation; 4, 5. 2nd, and 1st members of the Upper Cretaceous Matoushan Formation; 6. Lower Cretaceous Puchanghe Formation; 7. Lower Cretaceous Gaofengsi Formation; 8. Upper Jurassic Tuodian Formation; 9. Middle Jurassic Shedian Formation; 10. Himalayan granite and granitic porphyry; 11. copper orebody; 12. conformity and disconformity; 13. attitude of stratum; 14. fault and its number; 15. mudstone; 16. silty mudstone; 17. muddy siltstone; 18. siltstone and fine-grained sandstone; 19. medium-and finegrained sandstone; 20. feldspar-quartz sandstone; 21. medium-grained sandstone; 22. conglomerate with sandstone interlayer; 23. pyroclastic siltstone and fine-grained sandstone; 24. rose diagram of paleocurrent; 25. location of measured section and number; 26. location of measured section in different level tunnel and number; 27. river; 28. village 表明,楚雄盆地内大量发育锆石 U/Pb 年龄为 37~31 Ma^[12-13]的煌斑岩、花岗(斑)岩侵入体及次火山岩。 这些事实表明,楚雄盆地曾经历了多期次的构造—岩 浆事件的改造和破坏,这些构造—岩浆作用可能也是 盆地内及邻区成矿热液活动的重要因素。

在楚雄盆地北部的桂花地区,晚中生代地层发育 相对良好。它们具体表现为中侏罗统蛇店组(J₂s)、 上侏罗统妥甸组(J₃t)、下白垩统高峰寺组(K₁g)和普 昌河组(K₁p),以及上白垩统马头山组(K₂m)和江底 河组(K₂j)(图 1a,b)。区域地质调查研究结果^[1,11] 表明,高峰寺组与妥甸组、马头山组与普昌河组、江底 河组与马头山组均呈假整合接触;区内构造以开阔褶 皱为主,局部为紧闭乃至倒转褶皱,断裂相对不发育; 此外,大村铜矿区也广泛出露近东西向喜马拉雅期 (未发表数据)花岗(斑)岩及煌斑岩岩墙(群)(图 1b,c,d)。

区域上,楚雄盆地北部桂花—湾碧地区的铜矿体 主要集中分布在俄刀俄向斜内,树皮厂—桂花向斜两 翼也有局部产出,已知铜工业矿体和矿化体主要断续 出现在江底河组底部泥岩和马头山组顶部砾岩、砂岩 组合中(图 1b,c,d)。对于同一矿床(体),不同容矿 岩石的铜矿化特点存在一定差异。例如,对于大村及 直苴矿床,其矿体厚度及铜品位均值变化范围为,江 底河组底部泥岩分别为 0.19~0.43 m 及 1.47~ 1.95%,马头山组上部砂岩分别为 0.29~0.38 m 及 1.89%~2.21%,马头山组顶部砾岩分别为 0.02~ 0.08 m及 1.63%~2.32%^[1]。

2 上白垩统含矿岩系沉积相分析

2.1 马头山组(K₂m)

马头山组(K₂m)岩性主要表现为砂岩、含砾砂岩 及砾岩组合(图 2)。其中,砂岩、含砾砂岩是该套地 层下部组成的主要岩石组合类型,且局部夹砾岩透镜 体,即马头山组下段(K₂m¹);砾岩主要见于该套地层 上部,即马头山组上段(K₂m²)。总体上,该套地层呈 现出自下而上砂岩层厚度变薄且含量逐渐减少、砾岩 层厚度增大且含量增多的特征。同时,砾岩层在露头 上多以透镜体形式存在。

横向上,该套地层厚度和砂岩层总体具有自南而 北逐渐变薄的趋势,砾岩层厚度则呈现出向北逐渐增



图 2 桂花铜矿区上白垩统含矿地层剖面柱状图(岩性图例见图 1)

Fig.2 Columnar diagrams of the Upper Cretaceous ore-bearing strata in the Guihua copper orefield (lithology legend is shown in Fig.1)

厚的变化特征,并与地层和砂岩层厚度呈现彼此消长 关系特征(图2)。其中,马头山组地层在北部冶基厂 地区厚度最小(约37m),南部俄刀俄地区厚度最大 (95m)。据区域资料^[1,11],在本区以南的大姚六苴 地区,马头山组厚度大于200m。然而,该套地层中 砾岩层厚度在冶基厂地区最大(约21.3m),向南总 体逐渐变薄,在俄刀俄地区最薄,仅有0.3~1.2m。 此外,在大村铜矿区2200m中段巷道中,砾岩层缺 失,但与其相对应出露灰绿色含砾粗砂岩层,并发育 明显铜矿化。该含砾粗砂岩层厚度为0.8~1.5m。

垂向上,砾岩层单层厚度变化较大(0.05~9 m), 总体具有向上厚度变小且砾石砾径逐渐变小的趋势。 在局部地段,可见砾石砾径向上变大的逆粒序结构。 分布于地层剖面下部砂岩组合中的砾岩层,通常以透 镜体形式分布(图 3a),单个透镜体厚度一般为 2~15 cm,侧向延伸相对较小(一般为1~6m)。相对而言, 该套地层上部的砾岩层厚度较大。这些砾岩总体呈 现为系列透镜体组合,并夹有含砾粗砂岩透镜体。砾 岩层中砾石磨圆度较好,多为椭圆状,局部可见次棱 角状砾石(图 3b);砾石具有向南其砾径变小、磨圆度 变好和含量减少的特征。剖面上,这些砾岩在顶部总 体以砾质支撑为特征,下部则以砂质支撑为主要特 征,且空间上这些砾岩向南也逐渐变为以砂质支撑为 主的砾岩。砾岩层中还常见叠瓦状砾石(图 3c),同 时可见由不同级别砾石构成的大型板状斜层理;砾石 层中的含砾砂岩透镜体发育相对不清晰的板状、槽状 斜层理(图 3b,c)。砂岩通常为中—厚层状,露头上 为红色、浅灰色和灰绿色,局部地段含有少量砾石。 它们常与紫红色、深灰色泥岩相伴。砂岩底部通常可 见明显的冲刷面,且含有泥砾或者石英砾,属于河床 滞留沉积。楔状交错层理(图 3a)、正粒序(图 3b)、 板状交错层理(图 3d)及平行层理在砂岩层中极其发 育,交错层理在规模上向上逐渐变小。此外,粉砂岩、 泥岩中还可见小型槽状交错层理和爬升波纹斜层理, 局部地段夹有钙质结核层。

对 5 个实测剖面中砾石砾径 a、b、c 轴进行统计 并做累积频率曲线图(图 4),根据 Folk *et al*^[14]提出 的粒度参数计算公式分别计算其平均粒度(Mz)、标 准偏差(σ_i)偏度(Sk)、峰态(Kg)等,砾石成分组成 见图 2。结果(表 1)表明,马头山顶部砾岩层各测点 砾石平均中值粒径($\overline{d_{50}}$)大于平均粒径(\overline{d}),差值较 大,为 28.1~50.9 mm,说明该砾岩层砾石主体砾径较 小。从砾石粒径累积频率曲线(图 4)上可以看出,粒 径跨度较大(2~107 mm)。这表明,该套砾岩中的砾 石曾经历了短—中等距离的搬运过程;σ_i为0.98~ 1.26,表现为分选差;Sk为0.14~0.40,属正—极正偏 度,表明其沉积时的水动力条件较强;Kg为1.02~ 1.52,变化范围较窄,显示为窄峰—尖峰曲线,为水动 力条件较强的冲积-河流成因。此外,岔河及其以北 地区和以南地区的Sk值分别为0.31~0.40和0.14~ 0.21,分别呈现出极正偏度和正偏度,表明其可能分 别形成于冲积扇和曲流河沉积环境。

总之,该套地层下部砂岩和上部砾岩层均具有向 上粒度变细的趋势,并发育底冲刷面、板状和槽状交 错层理以及砾石叠瓦状排列等河流相沉积标志^[15]。 这些基本地质事实表明,马头山组下部(K₂m¹)是一 套边滩沉积为主及部分河床亚相的底部滞留沉积组 合,其上部(K₂m²)的砾岩层主要为一套河床滞留砾 岩沉积组合。

2.2 江底河组(K,j)

江底河组主要是一套细碎屑岩组合,与下伏马头山组之间为连续沉积。其下部为灰绿一灰黑色钙质 泥岩、炭质页岩、沥青质页岩组合(K₂j¹),中部主要为 紫红色粉砂质泥岩夹薄层泥质粉砂岩(K₂j²),上部紫 红色粉砂质泥岩夹砂岩组合(K₂j³)。其中,下部泥岩 组合是桂花地区铜矿床(体)的主要含矿围岩。

空间上,该套地层下部泥岩组合厚度具有自北而 南逐渐增大的趋势(图2),且在南部俄刀俄一带的沉 积厚度最大,约为64.5 m。区域上,随着马头山组顶 部砾岩层向南逐渐减薄并尖灭,泥岩层厚度则向南逐 渐增大,且直接覆盖于马头山组砂岩之上。相对于下 伏的马头山组而言,江底河组岩石粒度明显变细,且 砂岩层以粉砂岩为主并缺乏中、粗粒砂岩;中部红色 泥质粉砂岩中局部发育石膏细脉及斑块(图3e);下 部泥岩中发育干沥青脉(图3f)。泥岩和薄层粉砂岩 互层,在局部地段形成向上粒度变细的正粒序结构特 征;底冲刷面、波纹斜层理和火焰构造在野外也十分 常见。这些特征表明,江底河组形成于相对干旱的沉 积环境,为河流边滩亚相沉积。

在红色泥岩露头上,可见大量的液化砂脉分布。 这主要是由于沉积成岩作用过程中富含水分的浅色 粉砂岩,因压实作用而发生液化,并向上穿入紫红色 泥岩层中所致^[16-18]。与这些砂脉相伴的地段,还发 育有同沉积断裂、滑塌褶曲、同沉积砾岩以及大量的 砂岩"球枕"构造(图 3g)。这些同沉积滑塌构造和 液化砂脉内部及相关裂隙部位,也是铜金属硫化物的





图 3 桂花铜矿区晚白垩世含矿岩系沉积特征

a. K₂m,含砾砂岩中的楔状斜层理;b. K₂m,砾岩中的叠瓦状砾石和槽状斜层理(铅笔尖指示位置);c.砾岩与砂岩构成的"二元结构",并发 育板状斜层理(地质锤与其斜交);d. K₂m,中的板状斜层理;e. K₂j²中部泥质粉砂岩中发育石膏脉(白色箭头指示位置),并具晶洞构造;f. K₂j¹,下部泥岩中发育沥青脉(白色箭头指示位置);g. K₂j¹,下部粉砂质泥岩发育同沉积软变形构造;h.同沉积断裂和液化砂脉内部及边 部裂隙中富集铜硫化物(白色箭头指示位置)

Fig.3 Sedimentary features of the Upper Cretaceous ore-bearing rock formations in the Guihua copper ore field a. pebbly sandstone with wedge cross-bedding of the Matoushan Formation; b. imbricated pebbles and trough cross-bedding (pen head) of the Matoushan Formation; c. 'binary texture' and planar cross-bedding (oblique crossing with hammer) of conglomerate and sandstone; d. planar crossbedding of the Matoushan Formation; e. gypsum veins in the argillaceous siltstone from the 2nd member of the Jiangdihe Formation (white arrows); f. bitumen dykes in mudstone of the 1st member of the Jiangdihe Formation (white arrows); g. soft-sedimentary deformation structures of silty mudstone; h. copper sulfides concentrated in the internal and lateral fissures of the syn-sedimentary fractures and liquefied sandy dykes (white arrows)

Fig.4 Accumulative frequency curves of gravel axis for the conglomerate layers from the Upper Cretaceous Matoushan Formation in the Guihua copper ore field

主要集中发育区(图 3h)。

3 砾岩、砂岩碎屑组成特征

沉积盆地充填物碎屑组成严格地受到沉积物源 区、构造、气候、搬运作用及沉积成岩作用等地质因素 的共同影响^[19-21]。然而,砾岩组成特征不仅可以直 接反映其沉积物源区岩石类型和隆升剥蚀程度,同时 可以为盆地充填序列组成时空变化特征提供直接证 据^[22-26]。因此,我们对桂花地区马头山组与江底河 组砂岩碎屑组成研究同时,野外重点对马头山组中砾 岩进行了砾石成分详细研究。这一研究不仅可以揭 示它们的沉积物源区岩石类型等基本特征,也可为楚 雄盆地形成演化与相邻地质体耦合关系提供最直接 的沉积学证据。

3.1 砾岩成分特征

为了充分揭示马头山组上部砾岩层中砾石成分 空间变化特征,我们野外分别对冶基厂、树皮厂、岔 河、小河、大村等5个剖面的砾岩选取1m²开展砾石 面积统计^[27],进而进行了砾石含量估算,以确定物源 区可能的岩石类型及其时空变化特征。统计结果 (表1)表明,该套地层中砾岩砾石主要有石英岩、深 灰色硅质岩、砂岩、灰岩、花岗岩、玄武岩和泥岩,以泥 岩砾石最少(图2);砾石砾径变化大,在2~12 cm 之 间。空间上,砾石砾径向南逐渐减小且磨圆度明显增 高,同时玄武岩和花岗岩砾石的含量也明显减小。

桂花地区 5 条实测剖面砾石成分统计结果研究 表明,这些砾岩砾石成分与下伏基底地层和北侧及北 东侧隆起区(图 1a)的岩性完全相同。从北向南,砾

表1 桂花铜矿区上白垩统马头山组砾岩层砾石粒度特征统计表

 Table 1
 Granulometric features of conglomerate layers from the Upper Cretaceous Matoushan Formation

in the Guihua copper ore field

剖面	$d_{\text{a-max}}$	$d_{\mathrm{a-min}}$	$d_{\mathrm{b-max}}$	$d_{ m b-min}$	$d_{ ext{c-max}}$	$d_{\mathrm{c-min}}$	$\overline{d_{\mathrm{a}}}$	$\overline{d_{\mathrm{b}}}$	$\overline{d_{ m c}}$	\overline{d}	$d_{\rm a50}$	$d_{\rm b50}$	d_{c50}	$\overline{d_{50}}$	σ_{i}	Sk	Kø
	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/%	/%	/%	/%		511	8
P3	107	7	98	5	86	4	30.2	24.5	11.2	20.3	57.0	51.5	45.0	50.9	1.23	0.40	1.52
Р5	91	7	85	6	75	3	25.6	20.4	9.4	17.4	49.0	45.5	39.0	44.3	0.98	0.33	1.02
P7	73	6	64	3	53	2	23.9	14.8	8.6	14.6	39.5	33.5	27.5	33.1	1.02	0.31	1.37
P8	78	5	71	4	55	2	20.3	13.5	7.3	12.6	41.5	37.5	28.5	35.4	1.19	0.21	1.05
P12	59	5	54	4	46	2	19.7	11.5	5.2	10.6	32.0	29.0	24.0	28.1	1.26	0.14	1.29

石成分成熟度增高,同时在南部小河、大村一带,相对 缺乏玄武岩和花岗岩砾石(表1、图2)。这些基本事 实表明,马头山组沉积时的沉积物源区主要位于现今 桂花地区的北侧,且该区在晚白垩世时期具有北高南 低的古地貌格局。这一事实也与马头山组下部砂岩 组合厚度时空变化相一致。

3.2 砂岩碎屑组成

桂花铜矿区上白垩统砂岩显微结构分析(图 5) 表明,砂岩主要为岩屑杂砂岩、岩屑长石杂砂岩及长 石岩屑杂砂岩 3 种。碎屑由岩屑(25%~30%)、石英 (25%~35%)和长石(15%~25%)共同构成,其含量 变化相对较小,为75%~80%;基质通常为泥质和钙 质 2 类,含量为15%~20%。不同碎屑以棱角状—次 棱角状为主,表明其经历了较短距离的搬运。

岩屑由花岗岩、云母石英片岩、硅质岩、火山岩共 同构成。其中,花岗岩屑由石英和斜长石构成,具有 明显的花岗结构(图5a);同时,部分花岗岩岩屑中的 石英和长石具有明显的定向性(图5b),且石英波状 消光普遍发育(图5c),表明其来源于花岗质片麻岩; 火山岩岩屑有酸性火山岩和基性火山岩2类,尽管二 者均发生了不同程度的蚀变,但依然保留有清晰可辨 的斑状间隐结构(图5d)或填隙结构(图5b,e);硅质 岩屑则主要由不规则状细小隐晶质石英集合体构成 (图5a,f)。

石英和长石碎屑主要表现为次棱角状。石英碎 屑多以单晶石英为主,且部分单晶石英碎屑呈现次生 加大现象,并含有大量流体包裹体,同时具有明显波 状消光特点(图 5e),表明其为花岗岩来源^[28];多晶 石英碎屑发育波状消光,且部分含有鳞片状包裹体, 呈现出变质岩来源特征。长石有钾长石和斜长石两 类,但主要以斜长石为主;钾长石碎屑发育格子双晶 (图 5e,g),斜长石遭受一定蚀变,但是卡钠双晶依然 清晰可辨(图 5d)。而部分单晶石英碎屑表现为具港 湾状形态,但缺乏包裹体,可能来自于火山岩。

另外,可见黑云母(图 5f)、黝帘石(图 5h)、锆石 等碎屑重砂矿物。黝帘石和锆石多呈浑圆状,表面具 有明显的磨蚀痕迹和显微裂隙;黑云母碎屑相对完 好,但其边部也有明显的磨蚀痕迹。这些特征表明, 其曾经历了一定距离的搬运。

4 古水流分析

为了判别马头山组及江底河组沉积物源区的相 对位置,我们对区内5条剖面上砾岩层叠瓦状砾石最 大扁平面产状进行了实测,并结合地层产状进行其产 状校正恢复,进而绘制了相对应的古水流玫瑰花图 (图1)。从这些玫瑰花图上可以看出,马头山组砾岩 的沉积物源区总体来自于其北东侧物源隆起区,具体 表现为岔河以北主要来自北北东方向,岔河以南则来 自北西方向。这表明,研究区北部的盆地基底隆起控 制着盆地内部古水流方向,而且这些古隆起为盆地提 供了部分物源。

5 讨论

5.1 楚雄盆地桂花铜矿区上白垩统沉积环境

岩石组合和沉积相分析表明,楚雄盆地北部桂花 地区晚白垩世马头山组与江底河组是一套连续沉积 组合。垂向上,自下而上依次表现为砂岩、含砾砂岩 组合夹粉砂岩组合、砾岩透镜体夹砂岩、页岩、泥岩夹 粉砂岩组合,总体具有向上粒度变细的岩石组合特 征。其中,砾岩在整个桂花地区主要呈现为透镜体形 式分布,其厚度和侧向延伸均变化较大,发育叠瓦状 构造、不清晰板状斜层理;下部砂岩中发育大型板状、 槽状斜层理,其上部的泥岩、粉砂岩层中发育波纹斜 层理、爬升层理及同沉积滑塌褶曲、同沉积断裂、泄水 构造等。这些事实表明,楚雄盆地在晚白垩世时期主 体表现为一套河流相沉积组合,并具有向南盆地内水 体逐渐加深的基本特征。空间上,该套沉积组合在北 部桂花地区树皮厂以北地区,主要为河道滞留沉积组 合;而在树皮厂以南地区,主要为河流边滩相沉积。

5.2 晚白垩世时期古地理格局与成矿

砾岩、砂岩、泥岩厚度以及沉积相时空变化特征 共同表明,晚白垩世时期楚雄盆地桂花地区呈现出北 高南低的古地貌格局。砾岩成分分析表明,马头山组 沉积物源区层出露有石英岩、花岗岩、玄武岩、砂岩、 灰岩、片岩及泥岩等岩石组合类型(图2)。砂岩碎屑 组成(图5)分析结果表明,江底河组和马头山组沉积 时,其沉积物源区大量发育花岗岩、片麻岩、硅质岩、 玄武岩、云母石英片岩等岩石类型。同时,由于砂岩 呈现分选和磨圆差的特点,富含棱角状---次棱角状岩 屑和长石,以岩屑杂砂岩、岩屑长石杂砂岩及长石岩 屑杂砂岩为主要类型,表明其为形成于相对干旱环境 的近源沉积。这一推论与江底河组中含有的石膏盐 层相一致。江底河组内的同沉积断裂、液化砂脉等泄 水构造以及同沉积褶皱(图 2.3)等共同表明,该时期 楚雄盆地层沉积遭受了区域构造挤压作用引起的隆 升破坏。然而,马头山组中砂岩型铜矿化可能是由于

图 5 桂花铜矿区上白垩统砂岩碎屑显微照片

岩屑种类:Aln.黝帘石;Bt.黑云母;K.钾长石;Lch.硅质岩;Lg.花岗岩;Lmg.花岗片麻岩;Lms.云母石英片岩;Lvf.酸性火山岩;Lvmi.玄武岩; P.斜长石;Qm.单晶石英;Qp.多晶石英

Fig.5 Photomicrographs with cross-polarized light on the detrital fragments from the Upper Cretaceous sandstones from the Guihua copper ore field

Detrital fragments: Aln. allanite; Bt. biotite; K. K-feldspar; Lch. silicite; Lg. granite; Lmg. granitic gneiss; Lms. mica-quartzose schist; Lvf. acid volcanics; Lvmi. basalt; P. plagioclase; Qm. single-crystal quartz; Qp. polycrystal quartz

其北侧基底隆起区中的含铜岩石在发生隆升剥蚀过 程中被分解,并随同相关剥蚀碎屑一并向南搬运并发 生沉积,且在整个盆地遭受挤压隆升破坏过程中进一 步发生富集而成矿。

5.3 成矿控制因素

对于大多数已定义的砂岩型铜矿床而言,国内外 的学者对其成矿物质及流体来源、运移及金属富集沉 淀机制仍存在争议,但对其成矿作用与同沉积作用 (沉积岩性、沉积相和沉积—古地理环境)有关、发生 于成岩期或成岩晚期已达成共识^[29-33]。滇中楚雄盆 地及其邻区是我国著名的中—新生代砂岩型铜矿床 富集区,区内大量发育的铜矿床同样存在类似的分 歧,尤其是对其关键控矿因素仍不明确,限制了找矿 勘查工作的有效实施。

勘查工程揭露表明,楚雄盆地北部桂花地区铜矿 床(体)均呈层状、似层状或透镜状展布于俄刀俄向 斜内.主要呈面状连续赋存在江底河组底部灰绿—灰 黑色含粉砂质泥岩层中,次为马头山组顶部砾岩、含 砾砂岩和细--中粒岩屑砂岩中.目矿化连续,铜矿体 总厚度及平均品位分别为 0.59~0.80 m 和 1.81%~ 2.01%^[1]。其中,在俄刀俄向斜东翼地区,马头山组顶 部砾岩层已趋于尖灭,主要是马头山组顶部砂岩含 矿,而江底河组底部泥岩矿化较弱。本次的调查观测 发现, 楚雄盆地北部桂花地区的铜矿床容矿地层虽经 历了成岩后期的挤压变形,但沉积成岩期同生变形的 成矿控制作用较为明显,尤其是江底河组底部灰绿--灰黑色富含有机质(炭屑、沥青)泥岩中普遍发育的 同沉积变形构造(图 2,3),与铜矿化的成因联系较为 密切。调查还显示,区内未见先成矿石矿物被晚期热 液活化或改造的现象,这说明江底河组成岩后未发生 新的成矿作用。因而,区内铜成矿作用主要发生在沉 积成岩期,江底河组边滩亚相富含有机质泥岩及其与 下伏马头山组河道亚相砂砾岩的沉积组合,成为成矿 流体迁移和充填成矿的有利空间,而同沉积期变形构 造是主要的成矿驱动因素。这也应是区内砂岩型铜 矿化发育的关键机制。

6 结论

(1) 楚雄盆地北部桂花地区的上白垩统马头山组 和江底河组是一套连续沉积组合,形成于气候相对干 旱的河流环境,由河道亚相和边滩亚相沉积共同组成。

(2) 马头山组和江底河组碎屑组成分析表明,其 沉积物源区位于盆地北侧,曾出露有花岗岩、硅质岩、 片麻岩、云母石英片岩、玄武岩以及灰岩等。

(3)晚白垩世时期,楚雄盆地具有北高南低的古 地理格局,且在江底河组形成过程中该盆地总体曾经 历了区域挤压作用而引起的隆升破坏,也是区内砂岩 型铜矿床的主要成矿时期。

致谢 野外工作得到四川东能投资集团公司、云 铜集团公司大村铜矿公司领导及技术人员的大力支 持和帮助,成文过程中得到中国地质科学院地质研究 所杨天南研究员、闫臻研究员及东华理工大学朱志军 教授的有益指导,审稿专家和编辑对本文给予认真审 阅并提出建设性的修改意见,在此一并深表感谢。

参考文献(References)

- 云南省冶金地质勘探公司.砂岩铜矿地质[M].北京:冶金工业 出版社,1977:1-227.[Yunnan Metallurgical Geology Exploration Company. Geology of sandstone-type copper ore deposits[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1977: 1-227.]
- [2] 秦德先,孟清,杨明初. 牟定郝家河铜矿床的沉积—改造成因
 [J]. 矿床地质,1993,12(2):97-108. [Qin Dexian, Meng Qing, Yang Mingchu. The sedimentary-reformation origin of the Haojiahe copper deposit, Mouding county, Yunnan province [J]. Mineral Deposits, 1993, 12(2): 97-108.]
- [3] 庄汉平,冉崇英,何明勤,等. 楚雄盆地铜、盐、有机质相互作用 与砂岩铜矿生成[J]. 地质学报,1996,70(2):162-172.[Zhuang Hanping, Ran Chongying, He Mingqin, et al. Interactions of copper, evaporite, and organic matter and genesis of sandstone-hosted copper deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan province[J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(2): 162-172.]
- [4] 庄汉平,冉崇英,何明勤,等. 楚雄盆地有机质、膏盐与砂岩铜矿 生成关系的有机地球化学证据与机理[J]. 沉积学报,1996,14
 (3):129-138.[Zhuang Hanping, Ran Chongying, He Mingqin, et al. Organic geochemical evidence and meachanism of the genetic relationship between organic matter, evaporite, and sandstone-hosted copper deposits in Chuxiong Basin, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 129-138.]
- [5] 冉崇英,张智筠,庄汉平. 楚雄盆地铜、膏盐、有机矿床组合地球 化学[J]. 成都理工学院学报,1998,25(2):241-245.[Ran Chongying, Zhang Zhijun, Zhuang Hanping. Geochemistry of the associated copper, saline and organic deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25(2): 241-245.]
- [6] 陈根文,吴延之,夏斌,等. 楚雄盆地砂岩铜矿床同位素特征及 矿床成因[J]. 大地构造与成矿学,2002,26(3):279-284.[Chen Genwen, Wu Yanzhi, Xia Bin, et al. Isotopic characteristics and genesis of the sandstone-type copper deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan province[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2002, 26(3): 279-284.]
- [7] 陈根文,夏斌,王国强,等. 楚雄盆地砂岩铜矿构造控矿分析
 [J]. 大地构造与成矿学,2002,26(2):167-171.[Chen Genwen, Xia Bin, Wang Guoqiang, et al. Anaysis on structural control for sandstone-type copper deposits in the Chuxiong Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2002, 26(2): 167-171.]
- [8] 陈根文,夏斌,吴延之,等. 楚雄盆地砂岩铜矿成矿机理研究
 [J].中国科学(D辑):地球科学,2000,30(增刊1):169-175.
 [Chen Genwen, Xia Bin, Wu Yanzhi, et al. The metallogenic mechanism of the sandstone-type copper deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan province[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2000, 30(Suppl.1): 169-175.]

- [9] 韩润生,邹海俊,吴鹏,等. 楚雄盆地砂岩型铜矿床构造—流体 耦合成矿模型[J]. 地质学报,2010,84(10):1438-1447.[Han Runsheng, Zou Haijun, Wu Peng, et al. Coupling tectonic-fluid metallogenic model of the sandstone-type copper deposit in the Chuxiong Basin, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(10): 1438-1447.]
- [10] 鲁文举,王学文,龙力辉. 云南楚雄盆地砂(页)岩型铜矿床成 矿规律及成矿模式[J]. 矿物学报,2013,33(4):566-572.[Lu Wenju, Wang Xuewen, Long Lihui. Metallogenic geological regularities and metallogenic model of sand (shale)-type copper deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(4): 566-572.]
- [11] 云南省地质矿产局.中华人民共和国地质矿产部地质专报-第
 21号-区域地质:云南省区域地质志[M].北京:地质出版社,
 1990.[Yunnan Bureau of Geology & Mineral Resource. Regional geology of Yunnan province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.]
- [12] 李勇,莫宣学,喻学惠,等.金沙江—哀牢山断裂带几个富碱斑岩体的锆石 U-Pb 定年及地质意义[J].现代地质,2011,25
 (2):189-200.[Li Yong, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. Zircon U-Pb dating of several selected alkali-rich porphyries from the Jin-shajiang-Ailaoshan fault zone and geological significance[J]. Geoscience, 2011, 25(2): 189-200.]
- [13] 严清高,江小均,吴鹏,等. 滇中姚安老街子板内富碱火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及火山机构划分[J]. 地质学报,2017,91(8):1743-1759.[Yan Qinggao, Jiang Xiaojun, Wu Peng, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology and volcanic edifice division of the Laojiezi intraplate alkali-rich volcanic rocks in Yao'an, central Yunnan province[J]. Acta Geologica Sinica, 2017,91(8):1743-1759.]
- [14] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters [J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 3-26.
- [15] Miall A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth-Science Reviews, 1985, 22(4): 261-308.
- [16] Moretti M, Alfaro P, Owen G. The environmental significance of soft-sediment deformation structures: Key signatures for sedimentary and tectonic processes[J]. Sedimentary Geology, 2016, 344:1-4.
- [17] Storti F, Vannucchi P. Deformation of soft sediments in nature and laboratory-Preface[J]. Sedimentary Geology, 2007, 196 (1/4): 1-3.
- [18] Owen G, Moretti M, Alfaro P. Recognising triggers for soft-sediment deformation: current understanding and future directions[J].
 Sedimentary Geology, 2011, 235(3/4): 133-140.
- [19] Haughton P D W, Todd S P, Morton A C. Sedimentary provenance studies [J]. Geological Society, London, Special Publication, 1991, 57(1): 1-11.
- [20] 闫臻,王宗起,王涛,等.秦岭造山带泥盆系形成构造环境:来
 自碎屑岩组成和地球化学方面的约束[J].岩石学报,2007,23
 (5):1023-1042.[Yan Zhen, Wang Zongqi, Wang Tao, et al.

Tectonic setting of Devonian sediments in the Qinling orogen: Constraints from detrital modes and geochemistry of clastic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5): 1023-1042.]

- [21] 闫臻,王宗起,李继亮,等.造山带沉积盆地构造原型恢复[J]. 地质通报,2008,27(12):2001-2013.[Yan Zhen, Wang Zongqi, Li Jiliang, et al. Restoring the original tectonic types of sedimentary basins in the orogenic belt [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(12): 2001-2013.]
- [22] Follo M F. Conglomerates as clues to the sedimentary and tectonic evolution of a suspect terrane: Wallowa Mountains, Oregon[J]. Geological Society of America Bulletin, 1992, 104(12):1561-1576.
- [23] Düerr S B. Quick estimation of pebble volumes[J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, 64(3a): 677-679.
- [24] Mueller W U, Corcoran P L. Late-orogenic basins in the Archaean Superior Province, Canada: characteristics and inferences [J]. Sedimentary Geology, 1998, 120(1/4): 177-203.
- [25] Noda A, Takeuchi M, Adachi M. Provenance of the Murihiku Terrane, New Zealand: evidence from the Jurassic conglomerates and sandstones in Southland[J]. Sedimentary Geology, 2004, 164(3/ 4): 203-222.
- [26] Yan Z, Xiao W J, Wang Z Q, et al. Integrated analyses constraining the provenance of sandstones, mudstones, and conglomerates, a case study: the Laojunshan Conglomerate, Qilian orogen, northwest China [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 2007, 44 (7): 961-986.
- [27] Yan Z, Xiao W J, Windley B F, et al. Silurian clastic sediments in the North Qilian Shan, NW China: chemical and isotopic constraints on their forearc provenance with implications for the Paleozoic evolution of the Tibetan Plateau [J]. Sedimentary Geology, 2010, 231(3/4): 98-134.
- [28] Basu A, Young S W, Suttner L J, et al. Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1975, 45(4): 873-882.
- [29] Hitzman M W, Kirkham R V, Broughton D, et al. The sedimenthosted stratiform copper ore system[J]. Economic Geology, 2005, 100: 609-642.
- [30] Hitzman M W, Selley D, Bull S. Formation of sedimentary rockhosted stratiform copper deposits through earth history [J]. Economic Geology, 2010, 105(3): 627-639.
- [31] Borg G, Piestrzyński A, Bachmann G H, et al. An overview of the European Kupferschiefer deposits[J]. Society of Economic Geologists Special Publication, 2012, 16: 455-486.
- [32] Hayes T S, Cox D P, Piatak N M, et al. Sediment-hosted stratabound copper deposit model[R]. Reston, VA, US: U.S. Geological Survey Scientific, 2015: 1-147.
- [33] Zientek M L, Wintzer N E, Hayes T S, et al. Qualitative assessment of selected areas of the world for undiscovered sediment-hosted stratabound copper deposits: chapter Y in *Global mineral resource assessment* [R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2015: 1-143.

Sedimentary Environments of Late Cretaceous Ore-bearing Sequences at the Guihua Copper Ore Field in the Northern Chuxiong Basin, Yunnan Province, SW China

XUE ChuanDong, XIANG Kun, HU TingYin, LIAO Cheng, YANG XinPeng, YANGTIAN YunLu, WANG Lei

Department of Earth Sciences, Kunning University of Science and Technology, Kunning 650093, China

Abstract: The Late Mesozoic Chuxiong Basin is located at the intersection of the western margin of the Yangtze platform and the Sanjiang orogenic belt in Yunnan province, SW China. Abundant strata-bound copper deposits and occurrences within multiple Cretaceous sandstones or mudstones have attracted considerable interest since the late 1970s. A significant amount of care was previously paid to the ore genesis of the sandstone-hosted copper deposits, but sedimentary environments and sources of their host rocks were overlooked, which seriously affects our understanding of their tectonic setting and ore-forming mechanism. Systematic geological surveying, tunnels, and drillhole logging demonstrate that the Upper Cretaceous Matoushan and Jiangdihe Formations were deposited in a braided river channel and marginal bank subfacies environment with a relatively dry climate. Detrital fragments of sandstone, conglomerate composition, and paleocurrent data demonstrate that the Chuxiong Basin developed in a southward facing paleogeography with a mixed source consisting of northern source rocks and basement uplift during the Late Cretaceous. Vast basic volcanics, granitoids, clastic rocks, carbonates, and minor metamorphic rocks should be exposed at the northern source area. The Upper Cretaceous Jiangdihe Formation also experienced the uplift and collapse events caused by syn-sedimentary compressional tectonics, and the sandstone- and mudstone-hosted copper mineralization was coeval with the growing tectonic events during the syn-sedimentation processes of the Late Cretaceous Jiangdihe Formation. This is a vital controlling factor of the major copper transport and deposition of the Guihua ore field in the Chuxiong Basin. Key words: sedimentary facies; paleogeography; sedimentary source; Late Cretaceous; Guihua copper orefield; Chuxiong Basin