

贵州西南部 SBT 与金锑矿成矿找矿

刘建中¹, 夏勇², 陶琰², 杨成富¹, 王泽鹏¹,
谭亲平², 付绍洪², 陈睿¹, 吴文明¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 贵州 贵阳 550018; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 55002)

[摘要]在详细地质调查与矿产地质勘查基础上,采用矿床地球化学研究手段和综合分析方法,系统总结了 10 余年来 SBT 研究成果。本文详细阐述了 SBT 的特征,对与 SBT 密切相关的金锑矿的成矿时间、成矿物质来源、成矿流体来源与性质、成矿的动力学条件和成矿热液运移方向进行了探讨,建立了区域金锑成矿模式和找矿模型,提出了金锑矿找矿靶区。

[关键词]SBT; 贵州西南部; 金矿; 锑矿; SBT

[中图分类号]P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2014)04-0267-06

广布于贵州西南部的构造蚀变体(SBT)为区域构造作用和大规模低温热液蚀变作用的综合产物,为区域内金锑矿富集就位的场所,为贵州西南部低温成矿域最直接的金锑矿找矿标志,赋存于其中的金矿床和锑矿床已经获得了丰富的资源量,综合近年来的研究成果,就 SBT 与金锑矿成矿找矿有关问题进行讨论,以期对下步找矿提供帮助。

1 SBT 基本特征

(1) SBT 产出于茅口组(P_2m)和龙潭组(P_3l)或峨眉山玄武岩组($P_3\beta$)之间,为区域构造作用和大规模低温热液蚀变作用的综合产物;角砾状构造发育,角砾大小悬殊,成分复杂,角砾包含了茅口组灰岩、龙潭组粉砂岩、粘土岩、煤或峨眉山玄武岩组玄武岩、沉凝灰岩;强烈的硅化作用使其抗风化,野外表现为陡坎;厚度变化大,0~70 m;包含 P_2 和 P_3 地层,为跨时的地质体^[1-8]。

(2) SBT 广布于贵州西南部台地相区,大致以盘县-兴义-安龙-贞丰-晴隆-普安连线范围内,根据其顶界地层分别为龙潭组或峨眉山玄武岩组划分为两个区域^[7,8]。

龙潭组地层区:水银洞(超大型)、紫木函(大

型)、太平洞(大型)、戈塘(大型)、泥堡(大型)、香巴河(中型)、贞丰背斜(小型)、豹子洞(小型)、大丫口(小型)、雄武(小型)等。

峨眉山玄武岩组地层区:大麦地(中型)、架底(中型)、老万场(中型)、砂锅厂(小型)、山节地(小型)、沙子岭(小型)、砂厂(小型)、干沟(小型)等。

(3) 常量元素地球化学显示, SBT 以普遍的高含量 SiO_2 为特征,含量差异大, SiO_2 在 11.10%~98.34%,表现了普遍区域的硅化蚀变作用和硅化蚀变作用强度的不一致性。

(4) 微量元素地球化学显示, SBT 以区域强烈富集 Au-As-Sb-Hg 为显著特征,低温热液蚀变作用强烈,宏观尺度上表现为正常岩石而微量元素组成上表现的热液蚀变作用,表明了 SBT 与上覆岩石和下伏岩石之间的渐变关系。

(5) 稀土元素地球化学显示, SBT 总体继承其上覆岩石和下伏岩石的稀土元素组成,轻稀土相对富集,“四分组效应”明显,显示了为强烈的热液蚀变作用的产物,北美页岩标准化曲线表现为普遍具有 Eu 的正异常,与标准热水沉积物相左^[9,10],不支持热水沉积及喷流成矿^[11]。

(6) SBT 为贵州西南部台地相区金矿床和锑矿床的就位场所,水银洞超大型金矿床、戈塘大型

[收稿日期]2013-12-26

[基金项目]贵州省地矿局《黔西南“大厂层”岩石地质地球化学及金锑矿成矿作用和成矿潜力》[黔地矿发(2009)11号]、中国地质调查局《贵州贞丰整装勘查区金-铀多金属控矿因素研究》[科(2013)01-055-002]、中国地质调查局《贵州贞丰-普安金矿整装勘查区关键基础地质研究》[科(2014)04-025-053] 联合资助。

[作者简介]刘建中(1966-),男,贵州省务川人,研究员,长期从事金矿地质勘查与研究。

金矿床、泥堡大型金矿床和大厂大型锑矿床为其典型代表,赋存于 SBT 中的金矿体往往单矿体规模大(水银洞 I a-1 矿体达特大型矿床规模)而品位相对较低(多在 1×10^{-6} - 3×10^{-6} 之间)^[5,7]。

2 金锑矿成矿时间

(1)区内金锑矿床是热液成矿作用的产物,受控于区域燕山期构造体系。金锑矿就位的灰家堡背斜、戈塘穹隆、碧痕营穹隆、雄武背斜、二龙抢宝背斜及贞丰背斜等及其相伴的断裂构造,均定型于燕山期。

(2)水银洞金矿成矿期热液碳酸盐脉钐-钕同位素年代值为 135 ± 3 Ma^[12],大厂锑矿成矿期萤石钐-钕同位素年代值为 141 ± 20 Ma^[13]。

综上,认为贵州西南部赋存于 SBT 中的金锑矿床的成矿的较可靠年龄为 120 ~ 160 Ma,为燕山期成矿,与区域岩石圈伸展的构造背景相对应^[14]。

3 成矿物质来源

(1)贵州西南部 SBT 以成矿特征元素 Au-As-Sb-Hg-Tl 的高度富集为最显著特征,Au-As-Sb-Hg-Tl 和伴生的其他热液活动元素来自热液的带入,与未蚀变岩石相差巨大,含金黄铁矿的“三层式”结构的沉积型黄铁矿内核不含金的客观事实,表明金锑成矿非沉积作用的产物,是矿化热液活动作用的结果^[2,3]。

(2)SBT 中与金锑矿密切相关的热液黄铁矿、辉锑矿的铅同位素研究表明,总体表现为壳幔混合铅的特征,深部流体参与 SBT 中金锑成矿。

(3)对 SBT 中与金锑矿密切相关的热液黄铁矿、辉锑矿、雄黄的硫同位素进行研究, $\delta^{34}\text{S}$ 值总体变化为 -4.88‰ ~ $+10.53\text{‰}$,数据相对变化范围较大,不同硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化不同,辉锑矿和雄黄塔式效应明显,显示成矿流体中的硫存在深部地幔硫的参与。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化最大的原因可能与黄铁矿的多期叠加成因有关,除显示出热液成因硫的特征外,还有沉积成因硫源的加入(含金黄铁矿的“三层式”结构的沉积型黄铁矿内核)。

(4)与金锑成矿作用密切的方解石的碳、氧同位素研究表明,方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 为 -8.779‰ ~ 3.168‰ ,碳与地幔碳的范围部分重合,这表明

该矿成矿流体中的碳,可能部分来自深部,部分来自赋矿地层,即成矿流体中碳可能为深部和海相碳酸盐中碳的混合; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 的变化在 7.923‰ ~ 23.076‰ ,表现为氧可能主要来自地层;有一个碳氧投点落入花岗岩所在区域,反映了成矿过程中可能存在深部流体参与的证据及 SBT 中强烈的热液作用。

(5)刘显凡等研究^[14]表明:黔西南地区金锑就位之地层围岩(包含岩浆岩)与矿化岩、矿石和成矿石英脉的硅质来源不同,硅化作用属于成矿硅质流体所为,硅质和成矿物质主要直接来源于上地幔。

综上所述,区域金锑成矿物质主要来自深部地幔,同时有部分地壳物质的加入。

4 成矿流体来源与性质

(1)水银洞金矿主成矿期流体包裹体的均一温度为 $262\text{℃} \pm$,盐度 $6 \pm$ Wt% NaCl,大厂锑矿主成矿期流体包裹体的均一温度为 $151\text{℃} \pm$,盐度变化在 $0.18\% \sim 3.23$ Wt% NaCl,成矿流体显示了低温度低盐度的特点;水银洞金矿初步压力计算表明成矿流体的压力为 1.6 ± 0.4 Kbars,具有超压流体的特征^[2,11]。

(2)流体包裹体激光 Raman 研究表明,金矿和锑矿床中流体包裹体成分存在明显差异,金矿床流体包裹体成分比较复杂,锑矿床中流体包裹体成分则相对比较简单。金矿床中成矿流体可能主要为 NaCl-H₂O-CO₂-CH₄-N₂ 体系,锑矿床中成矿流体可能主要为 NaCl-H₂O 体系。

(3)流体氢氧同位素组成表明: $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值较高,为 22.8‰ ,可能是深部流体与大气降水混合所致, δD 值较低,为 -76.33‰ ,可能与包裹体中较高的 CH₄ 含量有关。

(4)研究表明:金矿床中成矿流体性质主要表现为弱酸性、还原性^[11,15];在 PH 值为 7-9 中偏碱性 75℃ 条件下,Au 和 Sb 共同迁移,而在溶液由中偏碱性向中偏酸性(PH 为 5.5-6.5)转化,在 PH 值近似 6 条件下,又会使 Au 和 Sb 分别沉淀,从而导致 Au 与 Sb 的分离^[17]。

黔西南赋存于 SBT 中的金锑矿床成矿流体可能为深部流体与大气降水混合,具有较低的温度和盐度,较高的压力,富气相成分,强还原的特点,携带大量 Au、Hg、Sb、As、Tl 的深部成矿流体在温度较高和中偏碱性的条件下运移,因压力剧

降、大量挥发分逸出、成矿流体物理化学环境的急剧改变,导致 Au、Sb 等成矿物质依次沉淀,并使金、锑富集于不同的空间位置。

5 成矿动力学条件

一般认为,大陆边缘(地台边缘或地台与褶皱带交接部位)是地壳结构变异带和地壳薄弱带,这里构造活动强烈,深大断裂发育,岩浆活动频繁,地热异常显著,既是深部物质和能量集中释放的有利空间,也是成矿物质超常富集的有利部位^[18]。

右江幔隆形成大区域尺度的异常高地热场,古地热场表现出由裂谷盆地中心向外逐渐降低的趋势。在戈塘附近的钻孔测温资料显示地热增温率为 5℃/100 m,高于一般大陆地温梯度的平均值(3℃/100 m),仍保留高地热特征^[19]。

SBT 及金锑矿分布区处于扬子地台与右江褶皱带两大构造单元的结合部位,地壳活动强烈,燕山运动导致早期的基底断裂再度复活^[11]并切穿地壳深达上地幔,深大断裂成为深部含金热液向上运移的通道。多期次强烈的构造活动驱使成矿流体从深部向浅部运移,随着成矿热力学条件的改变,在有利的岩性组合和不同的构造部位沉淀富集而形成独具特色的金锑矿床。

6 成矿热液运移方向探讨

(1)区内中二叠统茅口组与上二叠统龙潭组或峨眉山玄武岩组之间的岩溶不整合面既是区域性含矿热液运移的通道,同时又是金锑矿就位空间^[8]。

(2)研究区 SBT 均具有铀正异常,泥堡<贞丰背斜<水银洞<雄武<戈塘<大厂;在戈塘-大厂一线,SBT 的铀异常大,而该线两侧 SBT 的铀异常小;可能暗示来源于戈塘-大厂一线南西和南东两侧的深源流体,在该线附近汇集,从而造成了以大厂-戈塘为轴,轴上铀异常大,轴两侧铀异常小的特征^[8]。

(3)SBT 和典型金矿床中,铅同位素的 μ 值大部分较低(低于 9.58),与金密切相关的热液期黄铁矿的 μ 值低于 9.58,而辉锑矿 μ 值一般较大,超过 μ 值上限(9.58),辉锑矿作为晚期矿物,成矿流体中加入大量地壳浅部高放射性成因的铅,致辉锑矿 μ 值一般较大。黄铁矿-辉锑矿的

μ 值的从小到大的变化,同样也展示了金沉淀后富锑热液的长距离运移,平面上 μ 值从小到大的连线,可能就示踪了成矿流体的运移方向^[8]。

(4)Au 和 Sb 共同迁移而又分别沉淀,能有效运移金的成矿热液一定能运移锑,往往金先沉淀成矿而锑后沉淀,独立金矿床均伴有锑矿化,独立锑矿床中虽可含金,但含金性弱,金矿床形成时间早而锑矿床形成时间要晚^[16,19],金锑矿床之间的平面连线可能代表了含矿热液运移的方向^[8]。

初步认为:滇黔桂“金三角”之北东侧边界断层-南丹-昆仑关深断裂(贵州境内的紫云-娅都断裂)和北西侧边界断层-弥勒-师宗深断裂在燕山期复活而成为可能与地幔深部含矿热液上涌的通道,含矿热液沿茅口组与龙潭组或峨眉山玄武岩组之间的构造滑动面运移,两个方向(南西方向和南东方向)的含矿热液分别向北东和北西流动,在戈塘-大厂连线附近汇集,最终集聚于大厂^[8]。

7 金锑矿成矿模式和找矿模型

7.1 成矿模式

在燕山期区域构造作用下,沿深大断裂上涌的与深部岩浆作用有关的富含 CH_4 - N_2 - CO_2 和 Au^{2+} 、 Sb^{2+} 、 Hg^{2+} 、 As^{2+} 、 H_2O 的深部含矿热液进入 P_2m 与 P_3l 或 $\text{P}_3\beta$ 间的不整合界面(区域构造滑脱面)侧向运移(南东方向的成矿热液向北西方向运移,南西方向的成矿热液向北东方向运移),热液与区域构造滑脱面附近的岩石产生水/岩反应(交代)形成构造蚀变体-SBT,构造滑脱面既是热液运移的通道,同时又成为金锑矿就位空间(水银洞 I a 矿体、戈塘金矿、大厂锑矿)。一部分成矿热液沿背斜核部附近发育的断裂构造或一系列节理上升进入具有渗透层和封闭层相间组合的地层系统(渗透性较好孔隙度大的碳酸盐岩与具有屏蔽遮挡功能的如碳质页岩之类的封闭层),碳酸盐岩的顶底板粘土岩形成良好的封闭层阻止热液扩散而导致含矿热液沿孔隙度大的碳酸盐岩侧向运移并富集而成黔西南独特的层控型矿床-水银洞金矿^[2-7];另一部分因大量金沉淀在构造蚀变体中而使得锑含量增高的成矿热液继续沿 P_2m 与 P_3l 或 $\text{P}_3\beta$ 间的不整合界面作更远距离的运移,到达另一个合适的封闭构造(碧痕营穹隆)沉淀形成著名的层控型锑矿床-大厂锑矿^[8](图 1)。

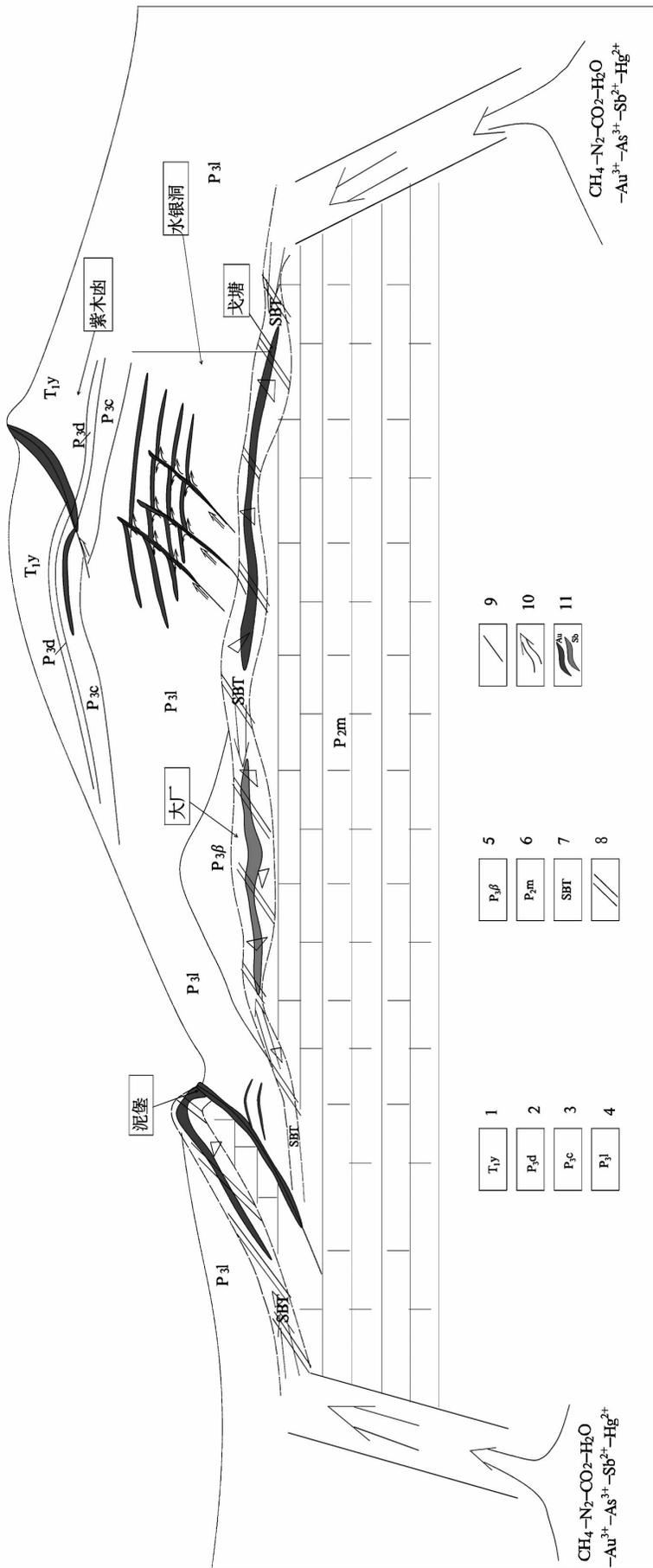


图1 贵州西南部SBT分布区金锑矿成矿模式示意图

Fig.1 Diagram of gold-antimony metallogenic mode of SBT distribution area in southwest Guizhou

1—夜郎组; 2—大隆组; 3—长兴组; 4—峨眉山玄武岩组; 5—龙潭组; 6—茅口组; 7—构造蚀变体; 8—深大断裂; 9—断层; 10—矿液运移方向; 11—金-锑矿体

7.2 找矿模型

(1)成矿背景:滇黔桂“金三角”范围内之黔西南二叠系-三叠系浅海碳酸盐台地相区。

(2)地层:上二叠统-下三叠统(龙潭组-长兴组-大隆组-峨眉山玄武岩组-夜郎组-永宁镇组)。

(3)控矿构造:构造蚀变体-SBT、穹隆、背斜或与背斜轴线近于平行之逆断层。

(4)地球化学: Au-As-Sb-Hg-Tl 套合最好的地段为找金最有利地段;高锑异常或锑矿化区是锑成矿有利区,该区金则多表现为矿化,难形成独立金矿体。

(5)矿床就位场所:背斜轴线两侧附近 500 m 范围内或者穹隆。

(6)工程揭露位置:层状矿体以揭露 SBT 进入茅口组终孔,断裂型矿体以揭穿断层终孔。

(7)找矿靶区:金矿-灰家堡背斜、戈塘背斜、包谷地背斜、雄武背斜、锑矿-碧痕营穹隆。

[参考文献]

- [1] 刘建中,邓一明,夏勇,等. Sbt 的概念及区域找矿意义 [A]. 第三届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集 [C]. 2005,4:65-67.
- [2] 刘建中,刘川勤. 贵州水银洞金矿床成因探讨及成矿模式 [J]. 贵州地质,2005,22(1):9-13.
- [3] 刘建中,邓一明,刘川勤,等. 贵州省贞丰县水银洞层控特大型金矿成矿条件与成矿模式 [J]. 中国地质,2006,33(1):168-177.
- [4] 刘建中,夏勇,张兴春,等. 层控卡林型金矿床矿床模型——贵州水银洞超大型金矿 [J]. 黄金科学技术,2008,16(3):1-5.
- [5] 刘建中,夏勇,邓一明,等. 贵州水银洞 Sbt 研究及区域找矿意义探讨 [J]. 黄金科学技术,2009,17(3):1-5.
- [6] 刘建中,陈景河,邓一明,等. 贵州水银洞超大型金矿勘查实践及灰家堡矿集区勘查新进展 [J]. 地质调查与研究,2009,32(2):138-143.
- [7] 刘建中,杨成富,夏勇,等. 贵州西南部台地相区 Sbt 研究及有关问题的思考 [J]. 贵州地质,2010,27(3):11-15.
- [8] 刘建中,夏勇,陶琰,等. 黔西南“大厂层”(SBT)岩石地球化学及金锑成矿作用和成矿潜力 [D]. 贵阳:贵州省地矿局 105 地质队(研究报告),2012.
- [9] 杨成富,刘建中,陈睿,等. 贵州水银洞金矿构造蚀变体稀土元素四分组效应 [J]. 矿物学报,2011,31(增刊):226-227.
- [10] 杨成富,刘建中,陈睿,等. 贵州水银洞金矿构造蚀变体稀土元素地球化学特征 [J]. 矿物岩石地球化学通报,2012,31(4):404-413.
- [11] 夏勇. 贵州贞丰县水银洞金矿床成矿特征和金的超常富集机制研究 [D]. 贵阳:中国科学院研究所(博士论文),2005.
- [12] Suwenchao, HuRuizhong, Xiabin, XiaYong, LiuYuping. 2009. Calcite-Sm-Nd isochronage of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China. *Chemical Geology*, 258:269-274.
- [13] 彭建堂,胡瑞忠,漆亮,等. 晴隆锑矿床中萤石的稀土元素特征及其指示意义 [J]. 地质科学,2002,37(3):277-287.
- [14] 胡瑞忠,等. 大面积低温成矿域及其超大型矿床的形成. 见:赵振华,涂光炽,等. 中国超大型矿床(II). 北京:科学出版社,2003.
- [15] 刘显凡,苏文超,朱赖民,等. 滇黔桂微细浸染型金矿深源流体成矿机理探讨 [J]. 地质与勘探,1999,35(1):14-19.
- [16] 张瑜,夏勇,王泽鹏,等. 贵州簸箕田金矿单矿物稀土元素和同位素地球化学特征 [J]. 地学前缘,2010,17(2):385-395.
- [17] 李九玲,张桂兰,元锋,等. “Fe-Au-Sb-S”体系中金迁移规律的实验研究 [J]. 矿床地质,1997,16(1):79-85.
- [18] 裴荣富,翟裕生,张本仁,主编. 深部构造作用与成矿 [M]. 北京:地质出版社,1999.
- [19] 庄新国. 桂西北地区古地热场特征及其在微细浸染型金矿床形成中的作用 [J]. 矿床地质,1995(1):82-89.
- [20] 朱赖民,胡瑞忠. 黔西南微细浸染型金矿床中金和锑共生分异现象及其热力学分析 [J]. 中国科学(D辑):1999,29(6):481-488.

The Relation Between SBT and Gold-antimony Deposit Metallogenesis and Prospecting in Southwest Guizhou

LIU Jian-zhong¹, XIA Yong², TAO Yan², YANG Cheng-fu¹, WANG Ze-peng¹, TAN Qin-ping², FU Shao-hong², CHEN Rui¹, WU Wen-ming¹

(1. 105 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang 550018, Guizhou, China; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

[Abstract] On the basis of detailed geological survey and mineral exploration, by deposit geochemical method and comprehensible analytical method, SBT researching results of recent ten years are summarized. In this paper, it narrates the characteristics of SBT, the metallogenic tome, material source, fluid source and

property, dynamic condition and mineralizing hydrothermal solution migration direction are discussed, the metallogenic pattern and prospecting mode of regional gold-antimony deposit are built up, then the target areas of gold-antimony deposit are pointed out.

[Key words] SBT; Southwest Guizhou; Antimony deposit

(上接第 260 页)

Geochemical Characteristics and Its Geological Significance of Tianqiao Pb-Zn Deposits, Guizhou Province

PENG Hong¹, CAI Bing-yan¹, TAO Ping^{1,2}, LI Ming-qin¹

(1. The College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China; 2. Guizhou Academy of Geologic Survey, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, it studies the source of metallogenic metals and fluid in Tianqiao Pb-Zn deposits, by the means of analyses on geochemical characteristics about the constant element, REE element, isotopes and trace elements, and so on. The results show that: ① they are similar that the composition characteristics of REE in ores and wallrocks, and so on. The total amounts of REE are relatively low, the rates of LREE/HREE are greater, the chondrite-normalized REE patterns have a LREE-rich and right leaning characteristic on the whole. Eu are negative anomaly obviously; Ce has negative abnormalities weakly. ② The metallogenic metals and fluid of deposits have poly-sources. Which are influenced by terrigenous greatly, and some of them may mainly come from the upper crust, and maybe some come from the ore-bearing strata and wallrock mainly; No sources of it come from oceanic crust or primitive mantle of deep source. ③ The mineralization is transformation of hydrothermal mineralization.

[Key words] Pb-Zn deposits; Geochemical characteristics; Mineralization

(上接第 296 页)

Sequence Stratigraphy and Sedimentary Environment of Early Cambrian in Zunyi-Dafang Area of Northwest Guizhou

BAI Ping¹, XIAO Jia-fei², HE Xi-qi¹, SHI Lei¹, LI Yan-tao²

(1. Guizhou Academy of Geologic Survey, Guiyang 550005, Guizhou, China; 2. State Key Laboratory Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002)

[Abstract] In Zunyi-Dafang of northwest Guizhou, the sedimentary stratum of early Cambrian developed completely, the rock in the middle and lower part mainly is land calstic rock, the up area mainly is carbonate rock. The section outcrop of Jinsha pore is fine, the signal is clear and has many deep-shallow variation cycles, then it was divided into 5 sedimentary sequences, the high water-level system track of 1st, 2nd, 4th and 3rd sequence is land clastic sediment, the transgressive system track of the 3rd sequence and the 5th are made up of carbonate sediment. The sequence stratum framework shows the sedimentary thickness is thick in the east and thin in the west, the system track thickness of each sequence shows the transgressive system track is thinner than high water-level system track. The sedimentary environment evolution of early Cambrian changes from deep to shallow, the transition sequence of general sedimentary is: deep retention shelf—open sea shelf—carbonate ramp—open sea shelf—shallow onshore—carbonate platform.

[Key words] Sequence stratum; Stratum framework; Sedimentary environment; Early Cambrian; Northwest Guizhou