

文章编号: 1004—5589 (2006) 04—0353—07

## 云南白牛厂银多金属矿床成因

祝朝辉<sup>1,2</sup>, 张乾<sup>1</sup>, 邵树勋<sup>1</sup>, 何玉良<sup>1,2</sup>, 王大鹏<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 对云南白牛厂超大型银多金属矿床的地质、地球化学特征及矿床形成的长期性及多阶段性的研究认为: 白牛厂银多金属矿床是热水沉积—叠生成因矿床, 早期呈现寒武纪的热水同生沉积成矿作用, 晚期为燕山期花岗岩浆热液成矿作用。该矿床是热水沉积成矿作用与岩浆热液成矿作用叠加成矿的产物。

**关键词:** 云南; 银多金属矿床; 白牛厂; 热水沉积矿床; 叠生成因矿床

**中图分类号:** P611      **文献标识码:** A

## Origin of Bainiuchang silver-polymetallic deposit in Yunnan, China

ZHU Chao-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, SHAO Shu-xun<sup>1</sup>, HE Yu-liang<sup>1,2</sup>, WANG Da-peng<sup>1,2</sup>

1. State Key Lab of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract:** On the basis of the geological and geochemical characteristics of the metallic deposit and its long-term multi-staged mineralization, the authors consider that the Bainiuchang silver-polymetallic deposit is a hot-water in deposit - diplogenic deposit. The Cambrian hot-water syngenetic sedimentary ore-forming process occurred in the early stage, while the Yanshanian granitic magma hydrotogenesis in the later stage. The deposit was produced by superimposition of the hot-water sedimentary mineralization and magmatic hydrotogenesis.

**Key words:** Yunnan; silver-polymetallic deposit; Bainiuchang; hot-water deposit; diplogenic deposit

滇东南地区存在着个旧、都龙和白牛厂等一系列世界级的多金属矿床, 前人已经对个旧和都龙两个矿床做了大量的研究, 认为矿区花岗岩是地壳物质重熔型花岗岩, 矿床是燕山晚期花岗岩浆携带成矿溶液进入围岩沉淀成矿的<sup>[1-5]</sup>。但是, 近几年随着个旧原生硫化物矿体及矿体与围岩关系的揭露, 一些学者对此提出质疑<sup>[6-9]</sup>, 认为个旧矿床可能是一个海底喷流沉积的矿源层, 在岩浆热液作用下, 活化转移沉淀形成的。由于滇东南具有广阔的成矿远景, 对这一系列超大型矿床成因的研究仍具有重

大意义。

对云南白牛厂银多金属矿床的成矿物质及成矿流体来源尚存在不同的认识, 并先后提出了“岩浆热液成因”<sup>[10]</sup>, “沉积初步富集岩浆热液叠加改造成因”<sup>[11]</sup>, “海底喷流沉积成因”<sup>[12]</sup>, “充填-交代叠生成因”<sup>[13]</sup>等多种观点, 到目前为止还没有统一的认识。笔者在总结和分析前人成因研究的基础上, 从矿床地质特征、矿床的矿物学以及地球化学特征出发, 认为白牛厂银多金属矿床属热水沉积-叠生矿床, 早期成矿作用为寒武纪热水同生沉积成矿

收稿日期: 2005-06-01; 改回日期: 2006-06-05

基金项目: 中国科学院重点方向项目 (KZCW3-SW-125)

作用,形成层状、似层状的矿体,后期与燕山期花岗岩有关,形成砂卡岩型矿化以及与岩浆热液有关的脉状、细脉状矿体。

## 1 矿床地质特征

### 1.1 大地构造背景

白牛厂矿床赋存于华南加里东褶皱系滇东南褶皱带北西缘的中寒武统细碎屑岩系之中。滇东南褶皱带在加里东期为一伸展背景下的裂陷海槽。矿区地处滇东南个旧和都龙多金属矿田之间。北西以弥勒断裂与扬子地台分界,南西以红河断裂为界与哀牢山断块毗邻,南连越北古陆,东部文麻断裂与南岭褶皱系连为一体。各构造单元的构造演化对白牛厂矿床均有不同程度的影响,区内地质构造、岩浆活动和矿化作用均较复杂(图1)。

### 1.2 矿区地层

矿区及其外围出露的最老地层为下寒武统冲庄组砂质板岩和大寨组灰岩夹砂质板岩。其上覆整合接触的中寒武统大丫口组板岩、粉砂岩和灰岩,田蓬组白云岩、灰岩、板岩和粉砂岩及龙哈组白云岩、粉砂质白云岩夹白云质粉砂岩。龙哈组分布广,次为田蓬组和大丫口组,冲庄组和大寨组呈局部分布。由于本区隆升较早,致使泥盆系砂岩、泥

岩和灰岩呈低角度直接超覆于龙哈组及田蓬组之上,缺失上寒武统、奥陶系及志留系。

## 2 热水沉积成矿的依据

热水沉积矿床是指由热水对流体系在地表附近或近地表(包括海底)通过沉积作用形成的矿床,包括了过去所称的火山沉积矿床、火山喷气矿床、热泉矿床等<sup>[15]</sup>。矿床主体以沉积方式形成于水-岩石界面之上的水体中,但也包括此界面之下可能存在的以交代和充填方式形成的筒状、锥状或面型热液含矿蚀变体,二者可共生或分别出现<sup>[16]</sup>。

块状硫化物矿床是一类重要的金属矿床,通常产于海相火山岩系和沉积岩系中,主要由Fe、Cu、Zn和Pb的硫化物组成,伴有Au、Ag、Co等多种有益元素<sup>[17,18]</sup>。通过近30年以深海钻探(DSDP)和大洋钻探(ODP)为主体的海洋地质调查,已发现150余处现代海底热液活动与金属硫化物沉积区<sup>[19,20]</sup>。白牛厂银多金属矿床早期的成矿作用是寒武纪的热水沉积作用,形成了层状、似层状矿体,晚期的岩浆热液对早期的部分层状矿体叠加改造。

### 2.1 矿床分布与同生断裂及局限性盆地特殊沉积相的控制关系

滇东南褶皱带在加里东期为一伸展背景下的裂陷海槽,海槽北面及西面为扬子古陆,南为越北古陆,东面与华南海槽相通,为一近东西向展布的狭窄海槽。海槽的沉积盆地边缘和内部受阶梯状断裂带控制,盆地明显分割为台地型盆地和裂陷深海槽区以及两者之间的海下断裂斜坡带。白牛厂矿床即位于断裂斜坡带靠陆棚一侧的次一级断层凹陷内,矿区主体构造为圆宝山复式向斜和以F<sub>3</sub>、F<sub>7</sub>为代表的北西西向断裂,圆宝山复式向斜控制了沉积相的空间配置方式,从而制约了矿体的空间形态及产状;北西西向断裂F<sub>3</sub>、F<sub>7</sub>为多期活动断裂,为控制含矿次级盆地南北缘的同生断裂,也是深部含矿热卤水进入海底凹陷成矿的通道(图2),可见白牛厂银多金属矿床的形成与同生断裂有密切关系,凹陷之北为滨浅海碳酸盐台地,南部为水下碳酸盐隆起,盆地内基底向南西缓倾,由于北台南隆上碳酸盐障壁的长期保护,沉积环境较为安定,为含矿热卤水沿生长断裂不断喷溢汇集提供了有利的场所<sup>[21]</sup>。由于盆地北台南隆的古地形圈闭作用,致

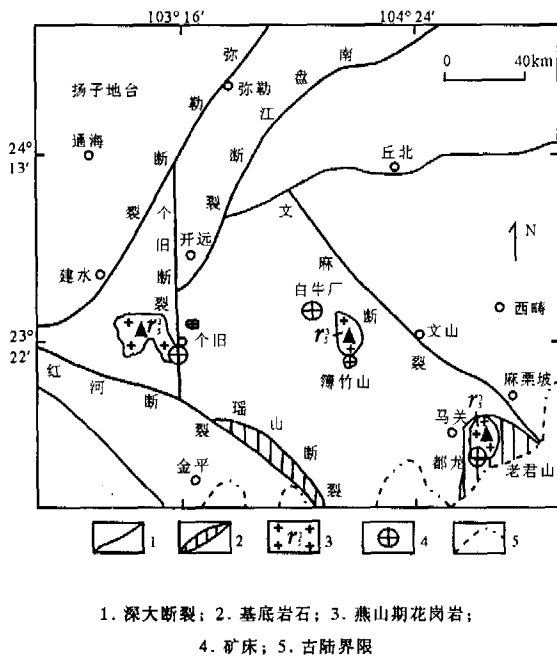
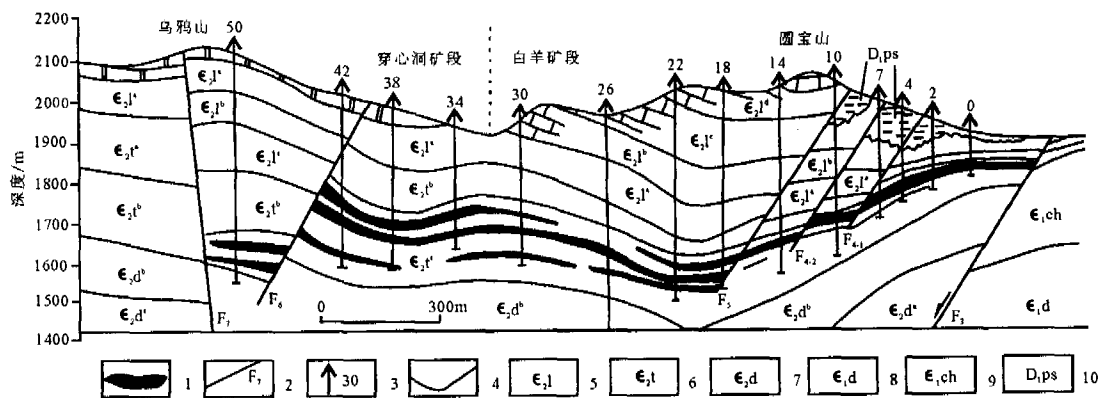


图1 白牛厂矿床地质构造略图<sup>[14]</sup>

Fig.1 Geological and tectonic sketch map of Bainiuchang deposit<sup>[14]</sup>

使陆源碎屑物质很少进入含矿盆地，有利于成矿物质的富集。最终形成了赋存于中寒武统田蓬组和龙

哈组白云岩、灰岩、板岩，粉砂岩和粉砂质白云岩夹白云质粉砂岩中的矿源层及部分层状矿体。



1. 矿体；2. 断裂；3. 钻孔；4. 地层界线；5. 龙哈组；6. 田蓬组；7. 大丫口组；8. 大寨组；9. 冲庄组；10. 坡松冲组

图 2 白羊矿段 74 号勘探线剖面图<sup>[11]</sup> (有修改)

Fig.2 Exploration profile 74 of the Baiyang segment in the Bainiuchang polymetallic deposit<sup>[11]</sup>

白金刚等 (1996)<sup>[21]</sup>系统研究了白牛厂含矿地层田蓬组下段的沉积相特征，认为田蓬组下段垂向上存在三个由滑塌浊流沉积、深水灰岩、热水沉积、黑色页岩和滑塌碎屑流沉积 5 个微相构成的次深水盆地相沉积旋回，每个旋回下部为快速堆积的滑塌浊流、碳酸盐浊流沉积的粗碎屑岩，中部为热水沉积夹黑色页岩或两者互层，上部为碎屑角砾岩沉积。并认为热水沉积微相是来自深部的热卤水喷流进入沉积盆地的局部凹陷内，于静水还原环境中以化学沉积为主所形成的，主要是硅质和硫化物以及硫酸盐的热水沉积物，由硫化物矿层和热水沉积岩组成，它们呈纹层状互层产出，硫化物主要以铁的硫化物为主，其次是锌、铅、银、铜、锡的硫化物及氧化物；热水沉积岩主要是含碳富绢云母钾长石微晶石英岩。主要发育两种沉积构造，即纹层状构造和同生滑动柔皱、破碎构造。水平纹层状构造延伸很远，V<sub>1</sub>号矿体走向延伸 > 3.5 km，倾向延伸 2 km，发育稳定的水平纹层状构造；同生滑动柔皱、破碎构造是在裂隙槽盆地斜坡上形成的独特滑动构造系列，与同生断裂活动引起的海底强烈下陷有关。

### 2.2 矿体产状及矿石结构

矿体产状是成矿作用最直观反映，一般认为，与围岩呈不整合产出的脉状、细脉状矿体为后生成因，与围岩呈整合产出的层状、似层状矿体为同生成因。白牛厂矿床内 70 余个隐伏矿体均呈层

状、似层状整合地产于中寒武统田蓬组中下部细碎屑岩和碳酸盐岩中，并与地层同步褶皱，明显受地层岩相控制 (图 2)，矿体内部普遍发育极薄的、延伸很远的纹层状韵律层理，典型的沉积成因鲕状、豆状构造黄铁矿以及其他大量的典型沉积构造，如胶状、梯状构造等。关于鲕状黄铁矿的成因，周建平 (1997)<sup>[8]</sup>认为这是富硫化物的热液喷出海底之后在排气口或热泉口附近发生的一种胶体硫化物的沉淀作用，具有化学作用和沉积成因的双重特点。胶体状态的硫化物，在通道口附近遭受热液喷流作用，引起水介质搅动，而呈悬浮状态，这种周而复始的搅动，便形成具有一圈圈同心纹包壳的胶黄铁矿鲕粒，其中的一些非硫化物的组分则是当时悬浮在海水中的硅质、碳酸盐或硅酸盐组分，当鲕状黄铁矿达到一定大小，其重量超过水搅动的能量，黄铁矿便沉淀下来。这些均表明矿床的形成与寒武系同生沉积有一定的内在关系。

### 3 热液叠生成矿的依据

#### 3.1 矿床与花岗岩体的关系

滇东南地区个旧、都龙、白牛厂三大多金属矿床的附近都有花岗岩体存在 (图 1)，其中产于白牛厂矿床东南部的薄竹山岩体沿薄竹山背斜核部侵入于寒武系、奥陶系和泥盆系等地层中，钻探资料证实，白牛厂银多金属矿床南西数公里阿尾矿段的钻孔中见到花岗岩，在主矿体白羊矿段的岩芯中也

见有一些小的岩脉,对岩芯的系统观察可以发现,在一些钻孔中,从地表到深部(400 m 处),蚀变矿物及矿物组合发生了显著变化,从以绿泥石化为主到出现阳起石、透辉石、石榴子石等矽卡岩矿物组合,从弱蚀变的泥岩、灰岩到大理岩和硅化岩石、角岩、矽卡岩乃至石英、碳酸岩细脉的出现。矿石矿物也随之有渐趋明显的重结晶作用和变化,局部有细脉状矿体出现。这些规律性的矿物学变化暗示着白牛厂矿区主矿体的下部可能存在花岗岩体。而且白牛厂矿区的物化探资料也显示,白牛厂矿床围绕隐伏花岗岩体,不仅有一个温度梯度场,而且还有一个压力梯度场,随着远离花岗岩体,成矿温度和成矿压力呈降低趋势。 $V_1$  矿体位于隐伏花岗岩体上部中低温矿化带,其边界和内部不同矿化组合类型的变化规律与重力异常圈定的隐伏花岗岩体基本对应<sup>[11]</sup>。另外,华仁民(1997)<sup>[22]</sup>指出白牛厂地区区域及地层展布均为 NE-SW 方向,而白牛厂矿带呈 NW-SE 向展布,与薄竹山花岗岩体 NW 端的指向一致。这与距薄竹山岩体最近的阿尾矿段钻孔中已见花岗岩是一致的,同时也暗示了花岗岩体对白牛厂矿床的影响。

### 3.2 围岩蚀变特征及矿化蚀变分带

矿床围岩蚀变总体较弱,且类型简单,主要为硅化、碳酸盐化、绿泥石化等低温蚀变。而与花岗岩有关的热接触交代变质产物如大理岩化、角岩化、矽卡岩化等在矿区的南部普遍出现,特别在阿尾矿段(图 3),且与矿化富集关系密切。在水平方向上由内向外具有 W→Sn-W→Sn-Cu→Cu-Mo→Pb→Zn-Pb→Pb-Zn-Ag 的元素分带现象,而且矿石中除具有上述典型的沉积组构外,还可见分布较多的交代熔蚀结构、包嵌结构、固溶体分离结构、斑状变晶结构、碎斑结构和细脉状构造、角砾状构造等热液组构和变质组构特征。矿石中可见两个世代的锡石、方铅矿和闪锌矿互相穿插、充填和交代,共处于一个空间,构成叠加成矿的主要标志。另外,矿化元素在矿体中的分布特征既不同于沉积矿体均匀分布,也不同于内生矿体局部富集的特点,在各元素的分布总体上比较均匀的背景上,出现跳跃式高峰区,铅在矿区中部和西北部出现跳跃式峰值区,锌的峰值区出现在中南部和西部,银的峰值区分布在矿体的北部,锡的峰值区主要分布在矿区东南部隐伏花岗岩体附近,隐伏花岗岩体接触带附

近尚有单独的铜矿体,元素在矿体中的上述分布特征可能是叠加成矿作用的又一标志,这也与作者对白牛厂地区的主要成矿元素分布特征的研究是一致的(见后文)。

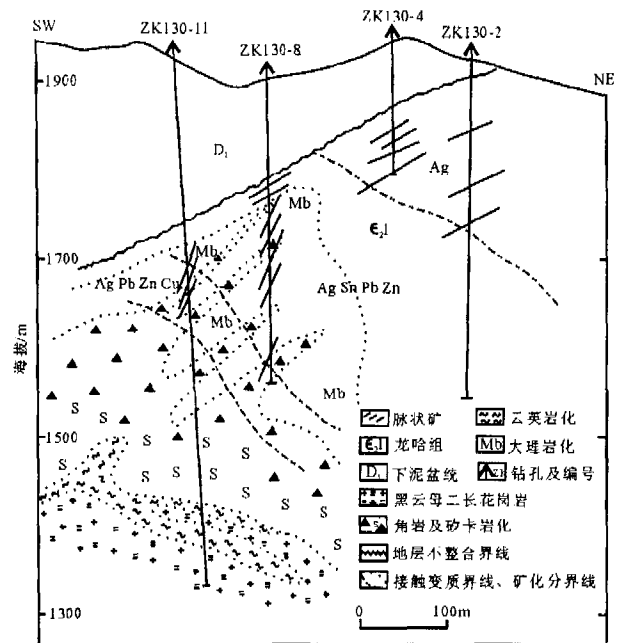


图 3 白牛厂矿床阿尾矿段 130 号勘探线剖面图<sup>[11]</sup>

Fig.3 Exploration profile chart 130 of A-wei ore segment in the Bainiuchang deposit<sup>[11]</sup>

## 4 矿床的矿物学和地球化学特征

### 4.1 矿物学及成矿元素特征

许多常见的金属硫化物中微量元素分布特征具有重要的矿床地球化学意义,如黄铁矿中 Co、Ni、Se 等微量元素地球化学特征,它们在黄铁矿中的含量及 Co/Ni、S/Se 值已被广泛用于矿床地球化学研究。沉积成因矿床黄铁矿中 Co、Ni、Se 含量均较低,Se 含量一般为  $0.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ , S/Se 值很高(几万~十几万),Co/Ni < 1; 而与火山活动有关的矿床或岩浆矿床,Co、Se 含量增加,Se 含量一般  $> 20 \times 10^{-6}$ , Co/Ni > 1, S/Se 值明显降低 (< 15 000)<sup>[23]</sup>。在白牛厂很多金属矿床内,无论是在层状矿体或脉状矿体中都普遍存在黄铁矿,白金刚等(1995)<sup>[12]</sup>测试了白牛厂矿区的 11 件黄铁矿样品,其中有 6 件 Se 含量  $> 20 \times 10^{-6}$ ,属深源热液型,5 件 Se 含量在  $5.1 \times 10^{-6} \sim 12.5 \times$

$10^{-6}$ 之间, 属低温热液到沉积成因, 但 S/Se 比值均在  $0.6 \sim 1 \times 10^5$  之间, 属低温热液到沉积成因, Co/Ni 值均小于或远小于 1, 暗示其为沉积成因。周建平 (1998)<sup>[9]</sup> 的研究同样表明: 白牛厂矿区各种黄铁矿的 Co/Ni 值均  $< 1$ 。

为探讨白牛厂地区主要成矿元素分布特征, 祝朝辉等<sup>[24]</sup> 在白牛厂矿区外围选择了 4 条剖面 (其中主要赋矿层位田蓬组选了两条剖面), 系统测定了矿区外围中寒武统大丫口组、田蓬组、龙哈组地层中 Pb、Zn、Sn、Ag 等成矿元素的含量并收集了与矿区花岗岩和花岗斑岩有关的成矿元素含量资料, 与之对比分析, 剔出异常值后结果显示: 53 件地层样品的 Pb 平均含量为  $25.43 \times 10^{-6}$ , 68 件地层样品的 Zn 平均含量为  $83.92 \times 10^{-6}$ , 68 件地层样品的 Sn 平均含量  $2.60 \times 10^{-6}$ , 63 件地层样品的 Ag 平均含量为  $0.18 \times 10^{-6}$ ; 而矿区花岗岩中 Pb、Zn、Sn、Ag 的含量分别为  $37 \times 10^{-6}$ ,  $119 \times 10^{-6}$ ,  $30 \times 10^{-6}$ ,  $0.2 \times 10^{-6}$ , 矿区花岗斑岩中 Pb、Zn、Sn、Ag 的含量分别为  $150 \times 10^{-6} \sim 375 \times 10^{-6}$ ,  $330 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ ,  $67 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ ,  $1.9 \sim 8.4 \times 10^{-6}$ <sup>[11]</sup>。笔者认为: Pb、Zn 在地层中含量较高的基础上, 花岗岩尤其是花岗斑岩又远高于地层中含量, 花岗岩提供了大量的成矿物质, 但是上述地层也提供了部分成矿物质; Sn 元素在隐伏花岗岩体, 尤其是在花岗斑岩中的含量均远高于在地层中的相应成矿元素的含量, 花岗岩体具有提供大量成矿元素的可能性; 而 Ag 在地层中的含量, 特别是在赋矿地层田蓬组和龙哈组中的含量则远远高于矿区隐伏花岗岩和花岗斑岩, 具有提供大量 Ag 潜力。由此可见, 白牛厂银多金属矿床是早期阶段寒武纪的热液沉积作用, 在田蓬组和龙哈组中形成了富含 Pb、Zn、Sn、Ag 的层状、似层状矿体, 成矿物质的富集以 Ag 为主, Pb、Zn 次之, Sn 最少; 晚期的岩浆热液可能进一步萃取了下伏地层甚至老基底的成矿元素, 形成了富含 Pb、Zn、Sn 的成矿热液, 其中以 Sn 最多, Pb、Zn 次之, 并对沉积喷流阶段部分层状、似层状矿体进行了改造, 最终形成了白牛厂超大型银多金属矿床。

#### 4.2 硫同位素地球化学特征

白牛厂银多金属矿床以硫化物矿物为主, 硫同位素组成变化范围较窄,  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $1.3 \times 10^{-3} \sim 5.7 \times 10^{-3}$ , 极差为  $4.4 \times 10^{-3}$ , 具有一定的塔式

效应, 总体来说, 硫的同位素组成特征具有深源硫的特点。现代海底金属硫化物成矿作用与陆地上的块状硫化物矿床具有极强的相似性, 是古老矿床的现代等同物, 因此, 为更好地探讨硫的来源, 笔者还对比了现代海底热液区热液沉积物中硫化物的硫同位素组成。曾志刚认为<sup>[25,26]</sup> 现代海底热液沉积物中硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值多集中在  $1 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-3}$ , 硫源大致可分三种类型: ①以火成岩来源硫为主, 并有海水来源硫的部分加入; ②以沉积物来源硫为主, 并有海水来源硫和有机还原硫的加入; ③以火山岩来源硫和沉积物来源硫的混合硫为主, 并有海水来源硫的部分加入。而且陈学明 (1998)<sup>[14]</sup> 的研究也表明白牛厂多金属矿床矿区外围沉积地层的  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $18.6 \times 10^{-3}$  和  $23.4 \times 10^{-3}$ , 寒武纪海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $30 \times 10^{-3}$ , 与矿石硫化物具有完全不同的硫同位素组成, 此外, 在滇东南寒武纪沉积地层中虽然发现了海底微生物的存在, 但在海底喷流同生沉积过程中, 其对白牛厂银多金属矿床的硫同位素组成的影响是微乎其微的。所以, 笔者认为白牛厂银多金属矿床的硫源单一, 主要来源于深部岩浆或老基底变质岩。

#### 5 结束语

白牛厂银多金属矿床是长期以来多种地质作用的综合产物。由于区域性拉张作用, 滇东南地区自晋宁期始形成多旋回演化裂谷盆地, 中寒武世在白牛厂地区形成近东西向的断陷海槽, 海槽的沉积盆地边缘和内部受阶梯状断裂带控制, 盆地明显分割为台地型盆地和裂陷深海槽区以及两者之间的海下断裂斜坡带, 白牛厂矿床即位于断裂斜坡带靠陆棚一侧的次一级断层凹陷内, 可见白牛厂银多金属矿床的形成与同生断裂有密切关系, 受盆地断裂构造运动的影响, 白牛厂地区同生断裂活动导致下渗并被加热的海水或深部高度演化的流体与底盘岩石互相反应, 一方面为成矿热卤水提供了硫, 另一方面从陆源碎屑物质和富银等的老陆壳或矿化体淋滤出了银和其他贱金属。富银和其他金属的热卤水稳定而持续地沿同生断裂喷溢到海底, 沉积形成以微晶石英为主体的硅质热水沉积岩和银多金属硫化物层。同时, 作为断陷盆地的同生断裂也是地壳构造薄弱部位, 燕山期花岗岩沿这些薄弱部位侵位, 富含 Sn、Pb、Zn 等成矿物质的岩浆热液对中寒武世

海底热水沉积作用形成的层状矿体及似层状矿体的叠加-改造作用,形成了接触交代型(矽卡岩型)矿化和脉状矿体,所以说中寒武世海底热水沉积作用和燕山期岩浆作用是白牛厂银多金属矿床的主导成矿作用,但是,两期成矿作用所起到的实际作用及矿床的演化过程还需要进一步地研究。

#### 参考文献:

- [1] 李家和. 个旧花岗岩特征及成因研究 [J]. 云南地质, 1985, 4 (4): 327-352.  
LI Jia-he. The characteristics and genesis of Gejiu granite [J]. *Yunnan Geology*, 1985, 4 (4): 327-352.
- [2] 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含锡花岗岩的锶同位素特征及找矿标志的研究 [J]. 地球化学, 1984 (4): 293-302.  
WU Qin-sheng, XU Jun-zhen, YANG Zhi. Sr isotope characteristics of Gejiu Sn-bearing granites and a study of ore-hunting indicators [J]. *Geochemica*, 1984 (4): 293-302.
- [3] 戴福盛. 个旧矿区壳源重熔岩浆岩石系列特征、演化及成岩成矿作用 [J]. 云南地质, 1996, 15 (4): 330-344.  
DAI Fu-sheng. Characteristics and evolution of rock series, lithogenesis, metallogenesis of crust-derived anatectic magma in Gejiu ore field [J]. *Yunnan Geology*, 1996, 15 (4): 330-344.
- [4] 郑庆鳌, 杨涤生. 云南个旧锡多金属成矿演化与成矿模式 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6 (2): 82-87.  
ZHEN Qing-ao, YANG Di-sheng. The mineralization evolution and metallogenic model of the Gejiu Tin-poly-metallic deposit in Yunnan Province [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1997, 6 (2): 82-87.
- [5] 卢耀. 云南个旧矿区西区成矿条件及找矿远景探讨 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23 (1): 57-61.  
LU Yao. Study on the metallogenic conditions and the ore-hunting prospect for the western district of Gejiu tin mine, Yunnan Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2004, 23 (1): 57-61.
- [6] 周怀阳. 论个旧一大厂地区火山喷气沉积-花岗岩浆热液叠加改造锡石硫化物矿床的地质特征及其成矿地质条件: 南京大学博士论文 [D]. 南京: 南京大学, 1988.  
ZHOU Huai-yang. The geology characteristics and metal-lic setting of volcanic exhalative sedimentary and magmatic hydrothermal rebuilding tin massive sulfide deposit in the Gejiu-Dachang region: Nanjing University doctoral dissertation [D]. Nanjing: Nanjing University, 1988.
- [7] 彭张翔. 个旧锡矿成矿模式商榷 [J]. 云南地质, 1992, 11 (4): 362-368.  
PENG Zhang-xiang. The mineralizing mode of Gejiu tin deposit [J]. *Yunnan Geology*, 1992, 11 (4): 362-368.
- [8] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南锡多金属矿床成因商榷 [J]. 云南地质, 1997, 16 (4): 309-349.  
ZHOU Jian-ping, XU Ke-qin, HUA Ren-min, et al. Discussion on genesis of the tin polymetallic sulfide deposit of southeastern Yunnan [J]. *Yunnan Geology*, 1997, 16 (4): 309-349.
- [9] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南喷流沉积块状硫化物特征与矿床成因 [J]. 矿物学报, 1998, 18 (2): 158-168.  
ZHOU Jian-ping, XU Ke-qin, HUA Ren-min, et al. Characteristics and genesis of exhalative sedimentary massive sulfides in southeastern Yunnan Province [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1998, 18 (2): 158-168.
- [10] 江鑫培. 蒙自白牛厂银-多金属矿床特征和成矿作用探讨 [J]. 云南地质, 1990, 9 (4): 291-307.  
JIANG Xin-pei. The discussion of deposit characteristics and mineralizing process of Bainiuchang silver poly-metallic deposit in Mengzi [J]. *Yunnan Geology*, 1990, 9 (4): 291-307.
- [11] 云南省地矿局第二地质大队. 云南省蒙自县白牛厂地区大比例尺成矿预测报告 [R]. 云南地质矿产局, 1994.  
The Second Geological Team of Yunnan Geological and Mineral Bureau. The report of large scale mineralizing forecasting at the region of Bainiuchang in Mengzi county, Yunnan Province [R]. Yunnan Geological and Mineral Bureau, 1994.
- [12] 白金刚, 池三川, 梅建明. 云南白牛厂超大型银多金属矿床黄铁矿的标型特征及其成因意义 [J]. 贵金属地质, 1995, 4 (4): 302-306.  
BAI Jin-gang, CHI San-chuan, MEI Jian-ming. The typomorphic characteristics of pyrites and its genetic meaning in Bainiuchang silver-Poly-metallic deposit, Yunnan Province [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1995, 4 (4): 302-306.
- [13] 高子英. 蒙自白牛厂银多金属矿床的成因研究 [J]. 云南地质, 1996, 15 (1): 91-102.

- GAO Zi-ying. On the genesis of the Bainiuchang silver-polymetallic deposit in Mengzi [J]. *Yunnan Geology*, 1996, 15 (1): 91-102.
- [14] 陈学明, 林棕, 谢富昌. 云南白牛厂超大型银多金属矿床叠加成矿的地质地化特征 [J]. *地质科学*, 1998, 33 (1): 115-123.
- CHENG Xue-ming, LIN Zong, XIE Fu-chang. Geological and geochemical characteristics of the Bainiuchang superlarge silver polymetallic deposit of superposed mineralization, Yunnan Province [J]. *Chinese Journal of Geology*, 1998, 33 (1): 115-123.
- [15] 涂光炽. 关于超大型矿床的寻找和理论研究 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1989, 3: 163-168.
- TU Guang-zhi. On reaching and theory study of super large ore deposit [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1989, 3: 163-168.
- [16] 涂光炽. 我国南方几个特殊的热液沉积矿床 [C] // 中国矿床学—纪念谢家荣诞辰 90 周年文集. 北京: 学术书刊出版社, 1989.
- TU Guang-zhi. Several typical exhalative sedimentary ore deposit in South China [C] // Chinese ore deposit—a corpus marking the Xie Jia-rong's 90th birthday. Beijing: Scholastic Book and Periodical Press, 1989.
- [17] Franklin J M, Sangster D F, Lydon J W. Volcanic-associated massive sulfide deposits [J]. *Economic Geology*, 1981, 75: 485-627.
- [18] Lydon J W. Volcanogenic massive sulfide deposits, Part 1: a descriptive model [J]. *Geoscience Canada*, 1984, 11: 195-202.
- [19] Herzig P M, Hannington M D. Polymetallic massive sulfide at the modern seafloor: a review [J]. *Ore Geology Review*, 1995, 10: 95-115.
- [20] Rona P A. Marine minerals for the 21st century [J]. *Episodes*, 2002, 25: 2-12.
- [21] 白金刚, 池三川, 覃功炯. 云南白牛厂沉积喷流型银多金属矿床沉积环境分析 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 1996, 5 (3): 140-145.
- BAI Jin-gang, CHI San-chuang, QIN Gong-jiong. The sedimentary environments of the Bainiuchang sedimentary effusive silver-polymetallic deposit, Yunnan [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1996, 5 (3): 140-145.
- [22] 华仁民, 朱金初, 赵一英, 等. 右江褶皱带带有色金属矿床成矿系列初步研究 [J]. *高校地质学报*, 1997, 3 (2): 183-191.
- HUA Ren-min, ZHU Jin-chu, ZHAO Yi-ying, et al. Preliminary study on metallogenetic series of nonferrous metal deposits in Youjiang fold belt [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1997, 3 (2): 183-191.
- [23] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 1.
- ZHAO Zhen-hua. The theory of trace elements geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1997: 1.
- [24] 祝朝辉, 张乾, 何玉良. 滇东南白牛厂银多金属矿床成矿元素特征 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2005, 24 (4): 327-332.
- ZHU Chao-hui, ZHANG Qian, HE Yu-liang. The characteristics of mineralizing materials of the Bainiuchang silver polymetallic ore deposit in Southeastern Yunnan [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2005, 24 (4): 327-332.
- [25] 曾志刚, 蒋富清, 秦蕴珊, 等. 现代海底热液沉积物的硫同位素组成及其地质意义 [J]. *海洋学报*, 2001, 23 (3): 48-56.
- ZENG Zhi-gang, JIANG Fu-qing, QIN Yun-shan, et al. Sulfide isotopic composition of modern seafloor hydrothermal sediment and its geologic significance [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23 (3): 48-56.
- [26] 曾志刚, 秦蕴珊, 翟世奎. 现代海底热液多金属硫化物的成矿物源: 同位素证据 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2000, 19 (4): 428-430.
- ZENG Zhi-gang, QIN Yun-shan, ZHAI Shi-kui. Sources of ore-forming materials of modern sea-floor hydrothermal sulfides: isotopic evidence [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2000, 19 (4): 428-430.