

文章编号: 1000-4734(2017)06-0705-07

# 滇西腾冲—梁河锡矿带典型锡矿床 硫同位素地球化学特征

陈晓翠<sup>1</sup>, 赵成海<sup>2</sup>, 张敏<sup>1</sup>, 杨梧<sup>1</sup>

(1. 贵州理工学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081)

**摘要:** 滇西腾冲—梁河锡矿带是三江特提斯成矿域重要的锡多金属成矿区, 目前已发现具有代表性的大型锡矿床 2 个: 古近纪的梁河来利山锡矿床和晚白垩纪的腾冲小龙河锡矿床。对这 2 个矿床主成矿阶段形成的黄铁矿样品进行了硫同位素测定, 结果表明来利山锡矿床黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值为+4.9‰~+6.7‰, 平均值+5.5‰ ( $n=10$ ); 小龙河锡矿床  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值为+5.0‰~+8.1‰, 平均值+6.3‰ ( $n=32$ )。两个锡矿床的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值与矿区花岗岩的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值 (0~+5.7‰) 范围基本一致, 暗示这 2 个矿床的成矿流体中的硫均来自花岗岩浆。结合已有研究资料, 认为腾冲—梁河锡矿带这两个典型锡矿床与矿区花岗岩具有同时性, 其成矿流体均主要源自各矿区花岗岩浆的分异演化, 花岗岩浆还为锡矿化提供了部分 Sn 成矿物质, 小龙河和来利山锡矿床的锡成矿作用与花岗岩浆活动具有密切的联系, 属于花岗岩岩浆热液矿床。

**关键词:** 硫同位素; 腾冲—梁河锡矿带; 成矿流体; 花岗岩

**中图分类号:** P579; P597; P613; P617 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2017.06.004

**作者简介:** 陈晓翠, 女, 1987 年生, 博士, 副教授, 主要从事矿床地球化学研究. E-mail: cxchyh@163.com

## Sulfur Isotope Geochemical Characteristics of a Typical Tin Deposits in Tengchong—Lianghe Tin Belt, West Yunnan Province, China

CHEN Xiao-cui<sup>1</sup>, ZHAO Cheng-hai<sup>2</sup>, ZHANG Min<sup>1</sup>, YANG Wu<sup>1</sup>

(1. Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

**Abstract:** Tengchong—Lianghe tin belt in western Yunnan Province is one of the most important tin mineralization belts in Sanjiang Tethyan metallogenic domain. There are two typical large-scale tin deposits in this belt: Early Tertiary Lianghe Lailishan tin deposit and Late Cretaceous Tengchong Xiaolonghe tin deposit. In this study, pyrite samples from the main mineralization stage of the two deposits were selected to analyze S isotopes. The  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  values of Lailishan and Xiaolonghe tin deposit range from +4.9‰—+6.7‰ (average value at +5.5‰) and +5.0‰—+8.1‰ (average value of +6.3‰), respectively. These data imply that sulphur of the two deposits were mainly derived from magmatic hydrothermal fluids. Combined with previous available data, it's suggested that the tin mineralization events in Tengchong-Lianghe tin belt are conspicuously contemporaneous with the emplacement of the granites. The granitic magmatism may partly provide ore-forming materials and fluids for tin mineralization of these tin deposits, strongly supporting granite-related origin of these tin deposits.

**Keywords:** S isotope; Tengchong—Lianghe tin belt; ore-forming fluid; granite

收稿日期: 2017-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 4160020815); 贵州理工学院高层次人才启动项目(XJGC20161229)

腾冲—梁河锡矿带是三江特提斯成矿域重要的锡多金属成矿区，也是著名的东南亚巨型锡矿带的北延部分。区内目前已发现有2个大型锡矿床（梁河来利山锡矿床和腾冲小龙河锡矿床）和5个中型锡矿床以及上百个锡矿点。区内出露3个不同时代形成的花岗岩带，东河—明光早白世花岗岩带、古永晚白世花岗岩带和槟榔江古近纪花岗岩带。锡矿床在空间上与这些花岗岩密切相关，诸多学者围绕该区内锡矿床及相关的花岗岩作了大量的工作，取得了一定的进展。矿床成因方面，根据矿床地质和成岩成矿。年代学等的研究，普遍认为该区锡矿化作用与花岗岩具有密切的时空关系<sup>[1-4]</sup>。对区内两个大型锡矿床（梁河来利山锡矿和腾冲小龙河锡矿）矿区花岗岩开展了岩石学、元素地球化学以及U-Pb年代学研究，认为这些花岗岩为形成于碰撞后应力松弛的伸展构造环境的A型花岗岩<sup>[5-6]</sup>。

本研究选取腾冲—梁河锡矿带具有代表性意义的来利山和小龙河两个大型锡矿床，对其进行成矿流体的硫同位素地球化学研究，以期深入了解矿床的成矿流体性质及其硫的来源，从而更好地认识锡矿床的成矿过程及其与花岗岩的关系。

# 1 地质概况

## 1.1 构造背景

三江特提斯成矿域中 Sn 成矿事件主要发育于滇西、藏东、川西地区（图1 A、B）<sup>[4,7-10]</sup>，而锡矿床集中分布的腾冲—梁河锡矿带是该区最重要锡成矿区，是著名的东南亚巨型锡矿带的北延部分<sup>[11]</sup>。腾冲—梁河锡矿带位于青藏高原的东南缘的腾冲地块中，系三江特提斯构造域东南段。三江特提斯构造域由一系列被不同时代特提斯洋缝合带分开的地体构成，其中班公湖—怒江缝合带（中特提斯洋）为拉萨地块与羌塘地块的地质分界，雅鲁藏布江—密支那缝合带（新特提斯洋）为印度地块和拉萨地块的地质分界（图1 A）。腾冲地块左右分别以雅鲁藏布江—密支那缝合带和班公湖—怒江缝合带为界，夹于西缅地块和保山地块之间（图1 A）。随着中特提斯洋和新特提斯洋相继俯冲消亡，燕山时期腾冲地块与保山地块碰撞拼贴，至喜马拉雅早期印度板块与腾冲地块发生碰撞并导致块体发生大规模旋转-逃逸-走滑形成青藏高原东南缘大型

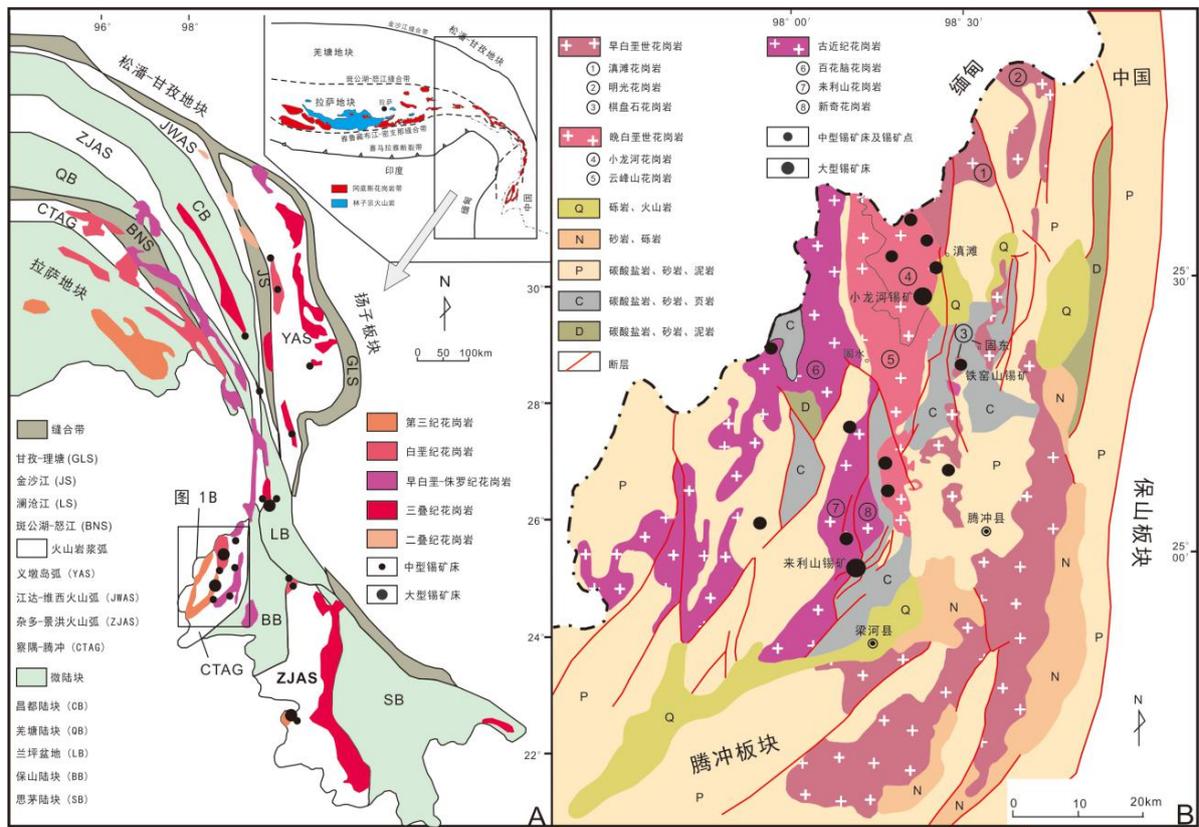


图1 (A) 三江地区和 (B) 腾冲—梁河地区地质矿产简图，据陈吉琛<sup>[21]</sup>、Hou et al.<sup>[11]</sup>修改  
 Fig. 1. Diagram of geology and mineral resources in Sanjiang Tethyan Domain (A) and Tengchong-Lianghe tin belt (B) (modified after Chen<sup>[21]</sup> and Hou et al.<sup>[11]</sup>).

构造变形域, 研究区即为该大型构造变形域的一部分<sup>[12-16]</sup>。腾冲—梁河地区属冈底斯岩浆弧的东南段, 位于察隅-腾冲花岗岩带中<sup>[11]</sup>, 区内出露 3 个分别形成于早白垩世、晚白垩世和古近纪的花岗岩带, 锡矿化与这些花岗岩在空间上密切相关 (图 1 B)。

### 1.2 矿床地质

梁河来利山和腾冲小龙河锡矿床是腾冲—梁河锡矿带具有典型代表性的两个大型锡矿床。其中, 来利山锡矿床金属储量 5.8 万 t (C+D 级), 小龙河锡矿床金属储量 6.56 万 t (C+D 级)<sup>[17]</sup>。来利山锡矿区主要出露地层有石炭系 (C) 浅变质碎屑岩, 局部有少量第四系全新统 (Q<sub>4</sub>)、二叠系下统双河组 (P<sub>1sh</sub>) 地层 (图 2A), 岩性较为单一。石炭系 (C) 地层主要为浅变质砂板岩为主夹多层含砾岩屑复矿物砂岩及灰岩。其中石炭系中统丝光坪组 (C<sub>2s</sub>) 上段为为矿区主要含矿围岩, 为一套灰、深灰色、灰紫色浅变质含砾岩屑长石石英杂砂岩夹 3 层板岩, 偶夹灰岩透镜体。断层发育, 按走向可分为北东向组和南北向组 (图 2 A), 以北东向组为主。矿体走向 40°~80°, 受早期北东向弧形断裂破碎带控制, 呈一向南东凸出的弧形 (图 2 A)。矿体形态为脉状、分枝复合脉状、透镜状。矿区内共有

十余组矿体, 其中 V<sub>57</sub>、V<sub>36</sub> 和 V<sub>10</sub> 组为主矿体。主矿体长 130~440 m, 沿倾向延深 100~250m, 最大 420m (V<sub>10</sub> 矿体 67 线, 图 2 A)。通过多年的开采, 除 V<sub>10</sub> 组主矿体正在开采外, 其它矿体开采均已经结束或者接近尾声。矿井下及标本对矿体矿化特征的观察, 可将来利山锡矿床矿石类型主要划分为 3 种: 云英岩型、石英-硫化物型和夕卡岩型。云英岩型锡矿石主要发现于 V<sub>10</sub> 组矿体中, 主要产于花岗岩与围岩的内接触带。该类型矿石主要由白云母、石英、黄铁矿和锡石组成, 从手标本以及镜下鉴定特征可以判定这 4 种矿物是密切共生的, 其中白云母和锡石呈放射状产出 (图 3 a、b); 石英-硫化物型锡矿石产出位置比较广, 在 V<sub>57</sub>、V<sub>36</sub> 和 V<sub>10</sub> 组矿体中均有产出, 主要产于花岗岩与围岩的外接触带以及围岩的构造破碎带中。该类型矿石中硫化物主要为黄铁矿, 锡石晶型较好, 发育有明显的短柱状晶形, 从手标本以及镜下鉴定特征可以判定锡石与黄铁矿是密切共生的 (图 3 c、d); 夕卡岩型锡矿石主要在 V<sub>36</sub> 组矿体中少量产出, 主要产于花岗岩与围岩的外接触带。主要夕卡岩矿物为石榴子石, 局部肉眼可见晶型较好、粒度达数毫米的石榴子石, 从图中可以看出, 黄铁矿显示出早期的胶状沉积构造 (图 3 e、f), 而锡矿化主要与晚期的夕卡岩化有

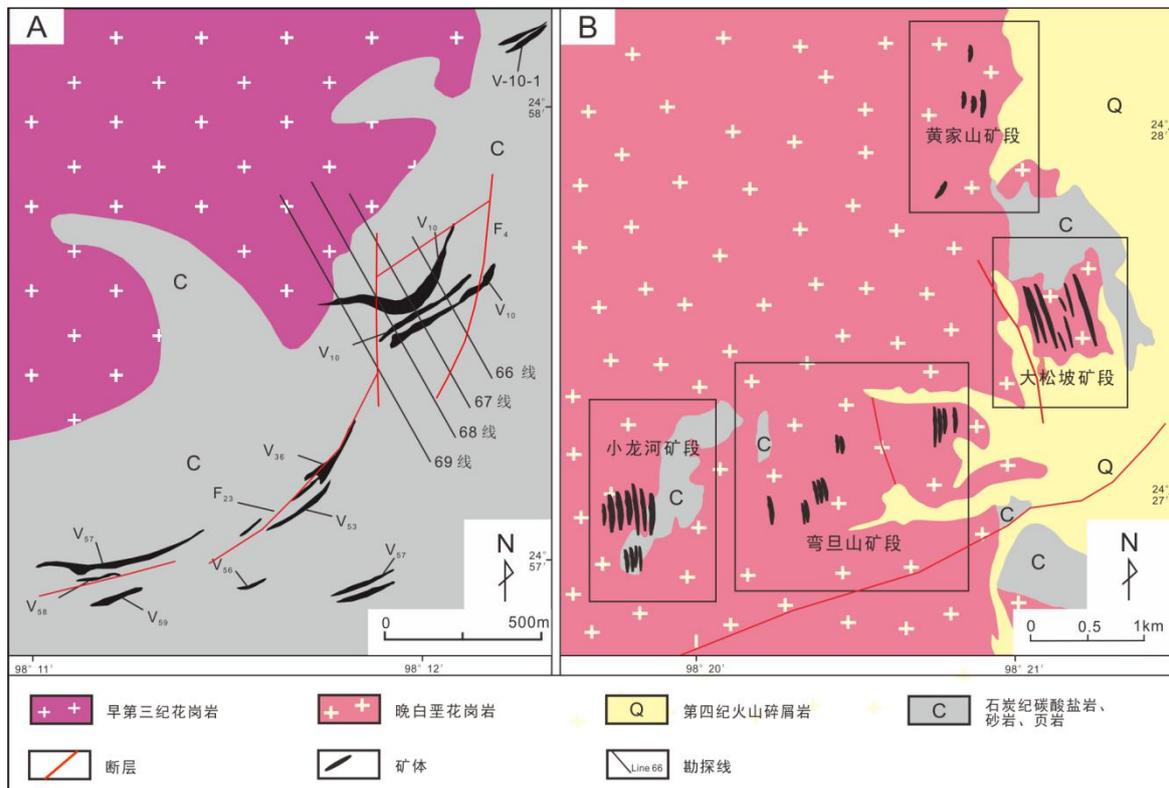
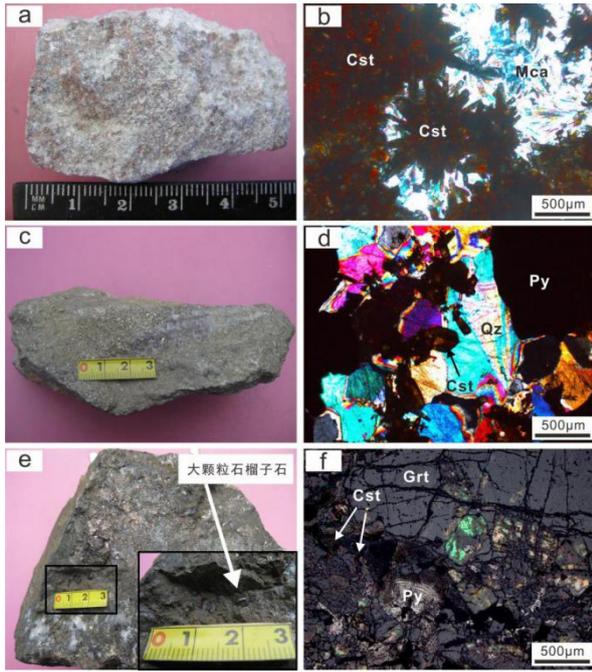


图 2 (A) 梁河来利山和 (B) 腾冲小龙河锡矿区地质简图  
Fig. 2. Simplified geological map of Lailishan (A) and Xiaolonghe tin deposits (B).



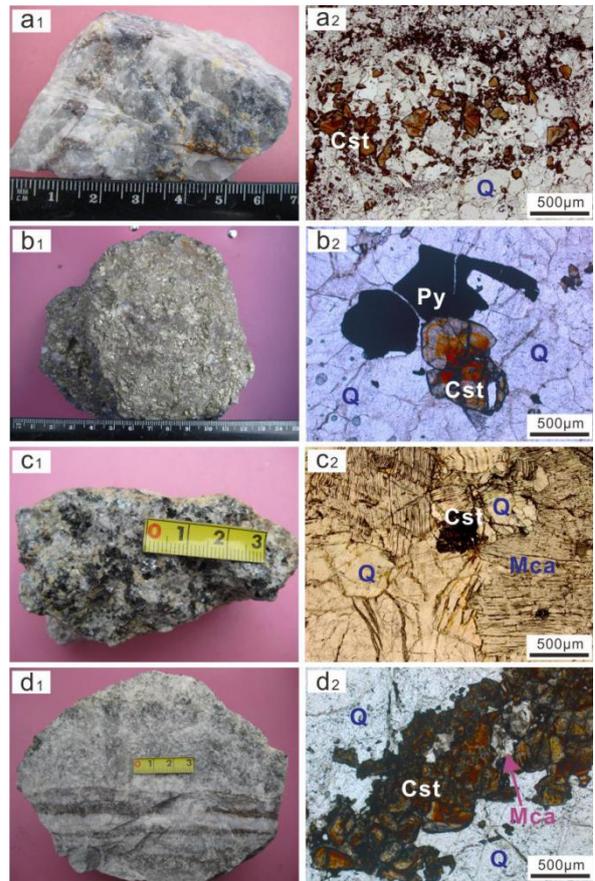
a、b 为云英岩型矿石；c、d 为石英-硫化物型矿石；e、f 为夕卡岩型矿石（其中 b、d 为反射光正交偏光照片，f 为反射光单偏光照片）  
Cst-锡石，Py-黄铁矿，Ms-云母；Qz-石英；Grt-石榴子石

图 3 来利山锡矿床矿石类型  
Fig. 3. Photographs of typical ore from Lailishan tin deposit.

关。来利山锡矿床金属矿物主要为黄铁矿，此外局部还有少量的磁黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿等，而非金属矿物以锡石、石英和云母为主，萤石、方解石、黄玉次之。矿化及围岩蚀变的类型较多，近矿围岩蚀变有云英岩化、硅化、萤石化、黄铁矿化、夕卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、赤铁矿化、高岭土化等。而锡矿化主要与云英岩化、黄铁矿化和夕卡岩化有关。

小龙河锡矿矿区有大量的花岗岩体出露，仅在矿区北部及东北角有少量沉积地层成残盖状覆于花岗岩体之上，为石炭系上统空树河组二、三段，原岩岩性为砂页岩，受到花岗岩侵入蚀变，已成角岩化砂岩、黑云长英角岩、绢云板岩、含砾长石石英砂岩等。断层主要为南北向和北西西向，矿体走向为近南北向，主要受南北向断裂控制（图 2 B）。按矿体集中产出情况，可分为 4 个矿段：小龙河矿段、弯旦山矿段、大松坡矿段和黄家山矿段。通过矿井下及标本对矿体矿化特征的观察发现，每个矿段具有特征的矿石类型：小龙河矿段主要为云英岩脉型锡矿石，细粒的云母、石英和锡石呈细脉状共生，产于大的石英脉中，锡石具有明显的环带特征（图

4 a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>)；弯旦山矿段主要为石英-硫化物型锡矿石，硫化物主要为黄铁矿，局部亦可见锡石的环带特征（图 4 b<sub>1</sub>、b<sub>2</sub>)；大松坡矿段主要为云英岩型锡矿石，其中云母主要为白云母，锡石颗粒多为晶粒状、半自形-它形产出（图 4 c<sub>1</sub>、c<sub>2</sub>)；黄家山矿段主要为云英脉型锡矿石，云母、石英和锡石共生，呈脉状产于花岗岩中（图 4 d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub>)。小龙河锡矿床主要的金属矿物为黄铁矿及少量的磁黄铁矿、磁铁矿、钨钼铁矿、黄铜矿等，脉石矿物有白云母、石英、锂黑云母、黑云母，少量绿柱石、黄玉等。与矿化有关的围岩蚀变主要有云英岩化、硅化、黄铁矿化等。



Cst-锡石，Py-黄铁矿，Ms-云母；Qz-石英

a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub> 为小龙河矿段云英岩脉型矿石；b<sub>1</sub>、b<sub>2</sub> 为弯旦山矿段石英-硫化物型矿石；c<sub>1</sub>、c<sub>2</sub> 为大松坡矿段云英岩型矿石；d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub> 为黄家山矿段云英岩脉型矿石（其中 a<sub>2</sub>、b<sub>2</sub>、d<sub>2</sub> 为反射光正交偏光照片；c<sub>2</sub> 为反射光单偏光照片）

图 4 小龙河锡矿床矿石类型  
Fig. 4. Photographs of typical ore from Xiaolonghe tin deposit.

### 1.3 矿区花岗岩特征

腾冲—梁河地区属冈底斯岩浆弧的一部分，为察隅—腾冲花岗岩带的南段。区内出露 3 个不同时

代形成的花岗岩带, 即东河—明光早白垩世花岗岩带、古永晚白垩世花岗岩带和槟榔江古近纪花岗岩带。锡矿床的产出在空间上与这些花岗岩密切相关(图1B)。来利山锡矿产于古近纪花岗岩带的来利山岩体中, 小龙河锡矿则产于晚白垩世花岗岩带的小龙河岩体中。锆石 U-Pb 定年结果显示, 来利山和小龙河锡矿区花岗岩成岩年龄分别为 53 Ma 和 73 Ma<sup>[5]</sup>。而两个锡矿床的锡石 U-Pb 及云母 Ar-Ar 年龄显示, 来利山锡矿的成矿时限为 47~52 Ma, 小龙河锡矿的成矿时限为 71~74 Ma<sup>[5]</sup>, 分别与矿区花岗岩的形成年龄对应, 说明锡矿化与花岗岩具有密切的成因联系。两个矿区花岗岩具有如下类似的地球化学特征: 高硅富碱, 富集大离子亲石元素、贫高场强元素, 属准铝质高钾钙碱性 A 型花岗岩, 形成于碰撞后应力松弛的伸展构造环境<sup>[5-6]</sup>。

## 2 样品采集和分析方法

硫同位素研究共采集了 42 件样品。来利山锡矿床 3 种主要的矿石类型中, 云英岩型和石英硫化物型锡矿石中黄铁矿与锡石密切共生, 而夕卡岩型锡矿石中存在早期沉积型的黄铁矿。为保证样品中硫化物为成矿期产物, 来利山锡矿床 10 件样品均为云英岩脉型和石英-硫化物型锡矿石。其中 7 件采自 V<sub>10</sub> 号矿体、2 件采自 V<sub>57</sub> 号矿体、1 件采自 V<sub>36</sub> 号矿体。小龙河锡矿床 10 件样品采自小龙河锡矿小龙河矿段, 主要为云英岩脉型和少量石英-硫化物型锡矿石; 6 件样品采自小龙河锡矿弯旦山矿段, 主要为石英-硫化物型锡矿石; 9 件样品采自小龙河锡矿大松坡矿段, 主要为云英岩型锡矿石; 7 件样品采自小龙河锡矿黄家山矿段, 主要为云英岩脉型锡矿石。由于黄铁矿为来利山和小龙河锡矿床的主要硫化物矿物, 因此我们挑选黄铁矿进行硫同位素研究。

样品粉碎至 40~80 目, 经淘洗浮选后, 在双目镜下挑选, 使得所选黄铁矿纯度在 95% 以上, 再磨至 200 目左右进行测试。硫同位素测试在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成, 使用仪器为连续流同位素质谱仪 CF-IRMS (EA-IsoPrime, 型号为 Euro3000, GV instruments), 测定数据采用以国际硫同位素 CDT 标准标定的国家硫同位素标准(硫化银) GBW-4414 ( $\delta^{34}\text{S}=-0.07\%$ ) 和 GBW-4415 ( $\delta^{34}\text{S}=22.15\%$ ) 进行校正, 测量误差小于  $\pm 0.2\%$  ( $n=5$ )。 $^{34}\text{S}$  的相对标准为 V-CDT。

## 3 分析结果

硫同位素实验结果见表 1。硫同位素变化范围较窄, 来利山锡矿床黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +4.9~+6.7‰, 平均 +5.53‰ ( $n=10$ )。小龙河锡矿床  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +5.0~+8.1‰, 平均 +6.33‰ ( $n=32$ )。其中四个矿段的  $\delta^{34}\text{S}$  值分别为: 小龙河矿段 +5.0~+6.8‰, 弯旦山矿段 +5.1~+7.4‰, 大松坡矿段 +5.4~+7.0‰, 黄家山矿段 +6.5~+8.1‰。两个矿床的  $\delta^{34}\text{S}$  值范围大致相同, 小龙河锡矿  $\delta^{34}\text{S}$  值(平均 +6.3‰) 略高于来利山锡矿(平均 +5.5‰)。

## 4 讨论

确定成矿溶液的总硫值( $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ ) 是判断硫源的主要依据<sup>[18-19]</sup>。本研究选取的黄铁矿为主成矿期最主要的硫化物, 故可以认为黄铁矿中的  $\delta^{34}\text{S}$  值近似等于成矿流体中的总硫值  $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ <sup>[18]</sup>。因此, 来利山锡矿床和小龙河锡矿床成矿流体的总硫值大致可以用黄铁矿的硫同位素组成代表。两个矿床黄铁矿硫同位素显示其各自的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值均集中分布(图 5), 说明每个矿床均具有高度均一的硫源, 并且在硫化物的结晶沉淀过程中, 流体中硫同位素分馏很弱。来利山锡矿床黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值为 +4.9‰~+6.7‰, 平均 +5.5‰; 小龙河锡矿床  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值为 +5.0‰~+8.1‰, 平均 +6.3‰。与矿区花岗岩副矿物黄铁矿的硫同位素  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值范围(0~+5.7‰)<sup>[4]</sup> 一致, 显示两个矿床成矿流体的硫主要为花岗岩浆来源。此外, 根据前人研究资料显示来利山锡矿区黄铁矿 Co/Ni 比值达到 4.23<sup>[20]</sup>, 表明来利山锡矿床中黄铁矿为岩浆热液成因。结合施琳等<sup>[4]</sup>对腾冲梁河地区锡矿床氢、氧同位素的研究, 该区云英岩型锡矿床成矿流体均源于初始岩浆水, 说明该区锡矿床成矿流体源自矿区花岗岩。研究显示, 来利山锡矿区和小龙河锡矿区花岗岩的 Sn 含量都明显偏高, 来利山锡矿区花岗岩的锡含量为  $11.5 \times 10^{-6}$ ~ $16.7 \times 10^{-6}$ , 平均  $14.5 \times 10^{-6}$ 。小龙河锡矿区花岗岩的锡含量为  $7.0 \times 10^{-6}$ ~ $38.5 \times 10^{-6}$ , 平均  $15.6 \times 10^{-6}$ <sup>[1]</sup>, 都明显高于地壳平均值( $2 \times 10^{-6}$ ~ $3 \times 10^{-6}$ ), 属于富 Sn 花岗岩。这些花岗岩高的 Sn 含量可能与其源岩富 Sn 有关。来利山和小龙河矿区花岗岩的源岩为古-新元古代形成的腾冲地块的变质基底高黎贡群<sup>[1]</sup>。已有研究显示, 该变质基底含有丰富的 Sn 含量, 平均  $10 \times 10^{-6}$ <sup>[21]</sup>, 也远高于地壳平均值, 其不仅为花

表 1 来利山和小龙河锡矿床黄铁矿硫同位素组成分析结果

Table 1. The S isotope composition of pyrite from Lailishan and Xiaolonghe tin deposits.

矿床	采样位置	样品编号	硫化物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\text{‰}$	矿床	采样位置	样品编号	硫化物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\text{‰}$
来利山	V <sub>10</sub> 号矿体	V <sub>10</sub> -2	黄铁矿	5.5	小龙河	大松坡矿段	DSP-1	黄铁矿	5.6
		V <sub>10</sub> -3	黄铁矿	6.7			DSP-2	黄铁矿	6.3
		V <sub>10</sub> -4	黄铁矿	6.0			DSP-3	黄铁矿	5.4
		V <sub>10</sub> -7	黄铁矿	5.4			DSP-4	黄铁矿	5.6
		V <sub>10</sub> -8	黄铁矿	5.4			DSP-5	黄铁矿	6.6
		V <sub>10</sub> -10	黄铁矿	4.9			DSP-6	黄铁矿	6.9
		V <sub>10</sub> -12	黄铁矿	5.1			DSP-7	黄铁矿	7.0
	V <sub>36</sub> 号矿体	V <sub>36</sub> -1	黄铁矿	5.2		DSP-8	黄铁矿	7.0	
	V <sub>57</sub> 号矿体	V <sub>57</sub> -2	黄铁矿	5.1		DSP-9	黄铁矿	6.9	
		V <sub>57</sub> -7	黄铁矿	6.0					
					黄家山矿段	HJS-1	黄铁矿	7.0	
小龙河	小龙河矿段	XLH-1	黄铁矿	5.6	HJS-2	黄铁矿	6.9		
		XLH-2	黄铁矿	5.0	HJS-3	黄铁矿	7.2		
		XLH-3	黄铁矿	5.7	HJS-4	黄铁矿	7.1		
		XLH-4	黄铁矿	5.3	HJS-5	黄铁矿	6.6		
		XLH-5	黄铁矿	6.3	HJS-6	黄铁矿	6.5		
		XLH-6	黄铁矿	6.3	HJS-7	黄铁矿	8.1		
		XLH-7	黄铁矿	5.9					
		XLH-8	黄铁矿	5.8					
		XLH-9	黄铁矿	6.2					
		XLH-10	黄铁矿	6.8					
弯旦山矿段	弯旦山矿段	WDS-1	黄铁矿	7.4					
		WDS-2	黄铁矿	5.1					
		WDS-3	黄铁矿	6.4					
		WDS-4	黄铁矿	5.4					
		WDS-5	黄铁矿	6.3					
		WDS-6	黄铁矿	6.5					

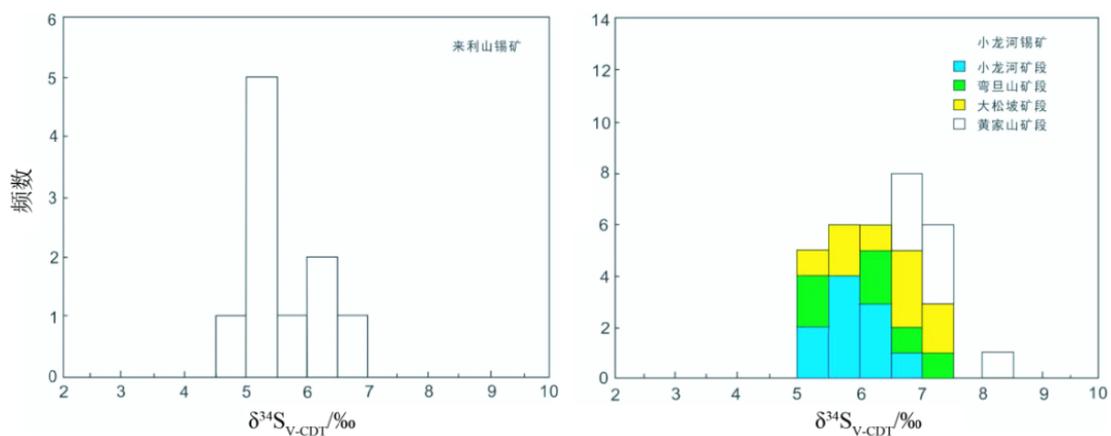


图 5 来利山和小龙河锡矿黄铁矿硫同位素分布直方图

Fig. 5. Histogram of S isotope compositions of Lailishan and Xiaolonghe tin deposits.

岗岩提供岩浆源, 也为花岗岩及相关锡矿床提供了 Sn 源。因此, 花岗岩浆作用不仅为小龙河和来利山锡矿床的锡矿化提供成矿流体, 还提供了成矿物质

Sn 和 S。成矿前, Sn 的浓缩富集主要发生在花岗岩浆的侵位和结晶分异过程中。Sn 属于不相容元素, 岩浆结晶分异过程中倾向于进入熔体相。随花岗岩

浆结晶分异的演化, 锡等早期结晶不相容元素与气化水体、挥发分等集聚于演化晚阶段残浆中, 形成相对富锡的花岗岩。当富锡花岗岩浆侵位于断裂不发育、围岩封闭条件好的构造环境, 锡主要在花岗岩岩体内成矿。Sn 的富集沉淀, 主要是花岗岩浆自身的结晶分异演化所致(如小龙河锡矿床大部分矿体均产于花岗岩体内部)。当含锡花岗岩侵位于断裂裂隙构造发育的围岩里, 花岗岩浆分异出的富 Sn 成矿流体会通过围岩层间构造、断裂-裂隙构造等迁移集聚于花岗岩与围岩接触带中。如此, 成矿物质 Sn 除了源自花岗岩浆分异结晶作用过程, 可能还部分源自成矿流体对围岩地层中 Sn 的萃取(如来利山锡矿床矿体主要产于花岗岩和围岩接触带)。

结合已有研究资料, 来利山和小龙河锡矿成矿与矿区花岗岩成岩具有同时性, 分别形成于古近纪(53 Ma)和晚白垩世(73 Ma)。因此, 腾冲—梁河锡矿带这两个典型锡矿床的成矿作用与花岗岩具

有密切的联系, 矿床类型为花岗岩岩浆热液矿床。

## 5 结论

(1) 硫同位素特征显示来利山锡矿床和小龙河锡矿床的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  与花岗岩浆的硫同位素  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值范围一致。结合已有的研究资料, 说明这两个矿床成矿流体及成矿物质 S 均来自于花岗岩浆。

(2) 结合已有研究资料显示, 腾冲—梁河锡矿带这两个大型锡矿床与矿区花岗岩具有同时性, 花岗岩浆作用不仅为锡矿化提供成矿流体, 还提供了成矿物质 Sn 和 S。因此, 小龙河和来利山锡矿床的锡成矿作用与花岗岩具有密切的联系, 为花岗岩岩浆热液矿床。

**致谢:** 在地质资料调研、野外地质考察及采样过程中, 得到了云南省地质调查局、云南省地调院、云南锡业集团梁河矿业有限公司的大力支持。在此一并表示最诚挚的谢忱。

## 参考文献:

- [1] Chen X C, Hu R Z, Bi X W, et al. Cassiterite LA-MC-ICP-MS U/Pb and muscovite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of tin deposits in the Tengchong-Lianghe tin district, NW Yunnan, China[J]. *Mineralium Deposita*, 2014, 49(7): 843-860.
- [2] 李景略. 梁河来利山锡矿床地质特征及其成因[J]. 云南地质, 1984, 3(1): 47-58.
- [3] 马楠, 邓军, 王庆飞, 等. 云南腾冲大松坡锡矿成矿年代学研究: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄和锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄证据[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1223-1235.
- [4] 施琳, 唐良栋, 赵珉, 等. 腾冲—梁河地区原生锡矿床类型及成矿机理[J]. 云南地质, 1991, 10(3): 290-322.
- [5] Chen X C, Hu R Z, Bi X W, et al. Petrogenesis of metaluminous A-type granitoids in the Tengchong-Lianghe tin belt of southwestern China: Evidences from zircon U-Pb ages and Hf-O isotopes, and whole-rock Sr-Nd isotopes[J]. *Lithos*, 2015, 212-215: 93-110.
- [6] 江彪, 龚庆杰, 张静, 等. 滇西腾冲大松坡锡矿区晚白垩世铝质 A 型花岗岩的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(5): 1477-1492.
- [7] 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 337-358.
- [8] 曲晓明, 侯增谦, 周书贵. 川西连龙夕卡岩型锡、银多金属矿床成矿地质特征[J]. 地球学报, 2001, 22(1): 29-34.
- [9] 曲晓明, 侯增谦, 周书贵, 等. 川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境[J]. 地球学报, 2002, 23(3): 223-228.
- [10] 杨春海, 何志魁, 苏兰, 等. 腾冲-梁河地区锡铜铅锌稀有多金属成矿模式[J]. 云南地质, 2010, 29(2): 111-116.
- [11] Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, et al. Sanjiang Tethyan metallogensis in S.W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31(1-4): 48-87.
- [12] Searle M P. Structural evolution and sequence of thrusting in the High Himalayan, Tibetan-Tethys and Indus Suture zones of Zaskar and Ladakh, western Himalaya: Reply[J]. *Journal of Structural Geology*, 1988, 10(1): 130-132.
- [13] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28: 211-280.
- [14] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-50.
- [15] 莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 43-51.
- [16] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-50.
- [17] 刘光亮, 秦德先, 张学书, 等. 云南省锡矿资源与可持续发展[J]. 安全与环境工程, 2004, 11(4): 36-39.
- [18] Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits[J]. *Economic Geology*, 1972, 67(5): 551-578.
- [19] Ohmoto H, Rye R O. Isotopes of sulfur and carbon[A]. Barnes H L. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*[M]. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1979: 509-567.
- [20] 徐恒, 张苗红, 朱淑桢. 梁河锡矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质学报, 2010, 30(2): 206-209.
- [21] “三江”专著编辑委员会. 青藏高原地质文集 13: “三江”岩石[M]. 北京: 地质出版社, 1983: 176-184.