

文章编号: 1000-4734(2011)03-0328-10

个旧锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体 地质特征及其研究意义

钱志宽^{1,2} 武俊德³ 康德明³ 陆荣宇³ 杨宝富³ 胡勇³ 罗泰义^{1*} 黄智龙¹

(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 100049; 3. 云南锡业集团公司 云南 个旧 661000)

摘要:报道了在个旧锡矿松树脚矿区发现的脉状锡石-赤铁矿-方解石新型矿体,认为该新型矿体很可能是成矿流体运移的通道,同时对其成因进行了初步探讨。通过与红海型热水沉积矿床的特征进行对比分析,提出个旧锡矿“层间氧化矿”以及红海型热水沉积矿床中铁氧化物型矿床可能存在2种成因模式:第一种是热卤水自海水向海底沉积物、从上到下的热卤水分层氧化模式;第二种是成矿流体自地下深部向海底的从下到上逐步氧化模式。

关键词:锡石-赤铁矿-方解石脉体;地质特征;通道相;云南个旧

中图分类号:P571;P611;P618.44 **文献标识码:**A

作者简介:钱志宽,男,1984年生,博士研究生,主要从事岩石学及矿床学研究。E-mail: qianzhikuan-0317@163.com

个旧锡矿是世界著名的超大型锡多金属矿床,传统的观点认为个旧锡矿的形成与燕山期花岗岩密切相关,最近20年来才逐渐提出了存在早期热水沉积的成因认识^[1-8],但是争论依然较大^[9]。

综合前人资料与个旧锡矿床实际地质情况,可以将个旧锡矿按赋矿特征划分为以下主要矿床类型:与中三叠世玄武岩密切相关的蚀变玄武岩型锡-铜矿床;与花岗岩有密切关系的花岗岩型锡矿床;接触带夕卡岩型锡石-硫化物矿床及各种热液脉状锡矿床;远离花岗岩体的赋存于碳酸盐岩地层层间的块状硫化物锡矿床“层间氧化矿”型锡矿床和低品位含锡白云岩型锡矿床;赋存于断裂带中的后期氧化矿型锡矿床以及后期的砂锡矿床等^[3,5,10-17]。

近年来,本课题组对个旧锡矿田主要的“层间氧化矿”产区——松树脚矿区的地质考察和系

统的室内镜下鉴定分析中,发现了一种新的成矿类型——锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体。在后续专题填图过程中,发现此类型脉状矿体在个旧锡矿田北部马拉格矿区也有发育。初步研究表明,该成矿类型对“层间氧化矿”的形成机制有着重要的指示意义。本文通过对锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体及其所在剖面的产状特征及矿物组合特征进行系统剖析,并对比红海型热水沉积矿床的特征,初步探讨了锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体的形成过程,认为其很可能是成矿流体的运移通道,并进一步讨论了个旧锡矿“层间氧化矿”型矿床可能的成因机制。

1 区域地质概况

从全球构造而言,个旧超大型锡多金属矿床地处太平洋构造域与特提斯构造域的交界部位;处于欧亚板块在东、西两侧分别被太平洋板块和印度板块俯冲、碰撞相接处。位于扬子板块与华夏地块过渡带的右江褶皱带西缘。右江褶皱带北以弥勒—师宗岩石圈断裂与华南和东南亚板块扬子陆核相接,南邻菲律宾海板块,西南以哀牢山—黑水河超岩石圈断裂与滇藏褶皱带相连,再往西为印度板块(图1)^[15,14,18]。由于三大板块多次相

收稿日期:2011-03-01

基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:40603013);中国科学院“西部之光”项目;全国危机矿山接替资源找矿项目(编号:2008186)

* 通讯作者: E-mail: luotaiyi@vip.gyig.ac.cn.



图1 右江褶皱带及周边构造单元位置示意图
 (据云南地质矿产局,1990修改)

Fig. 1. Structure distribution of Youjiang fold belt and
 locations of surrounding tectonic units.

互作用,右江褶皱带在海西-印支期北西、北东向微裂谷作用强烈,伴随多次基性火山活动和火山沉积成矿及喷流热水沉积成矿作用。加上燕山期以花岗质岩浆为主的多次岩浆活动,为形成云南个旧和广西大厂等超大型锡多金属矿床提供了有利的背景条件^[5]。

2 矿区地质特征

矿区范围内断裂发育,小江岩石圈断裂南缘的南北向个旧断裂将矿区划分为东、西区,现今开采的矿床多位于东区。矿区内EW向和NE-SW向的次级断裂是最重要的控矿构造^[5,14,16]。矿区岩浆活动在时间上可主要分为印支期和燕山期2个大的旋回。印支旋回以基性火山活动为主,形成了玄武岩、凝灰岩等火山次火山岩;燕山旋回以酸性-碱性岩浆侵入活动为主。整个岩浆演化经历了喷发(喷溢)到侵入的发展过程^[5]。

矿区主要出露有二叠系、三叠系、古近系和新近系地层。其中三叠系个旧组(T_2g)碳酸盐岩是区内最主要的赋矿地层。个旧组按岩性组合由下至上分为3段:卡房段(T_{2g_1})为灰岩与白云岩

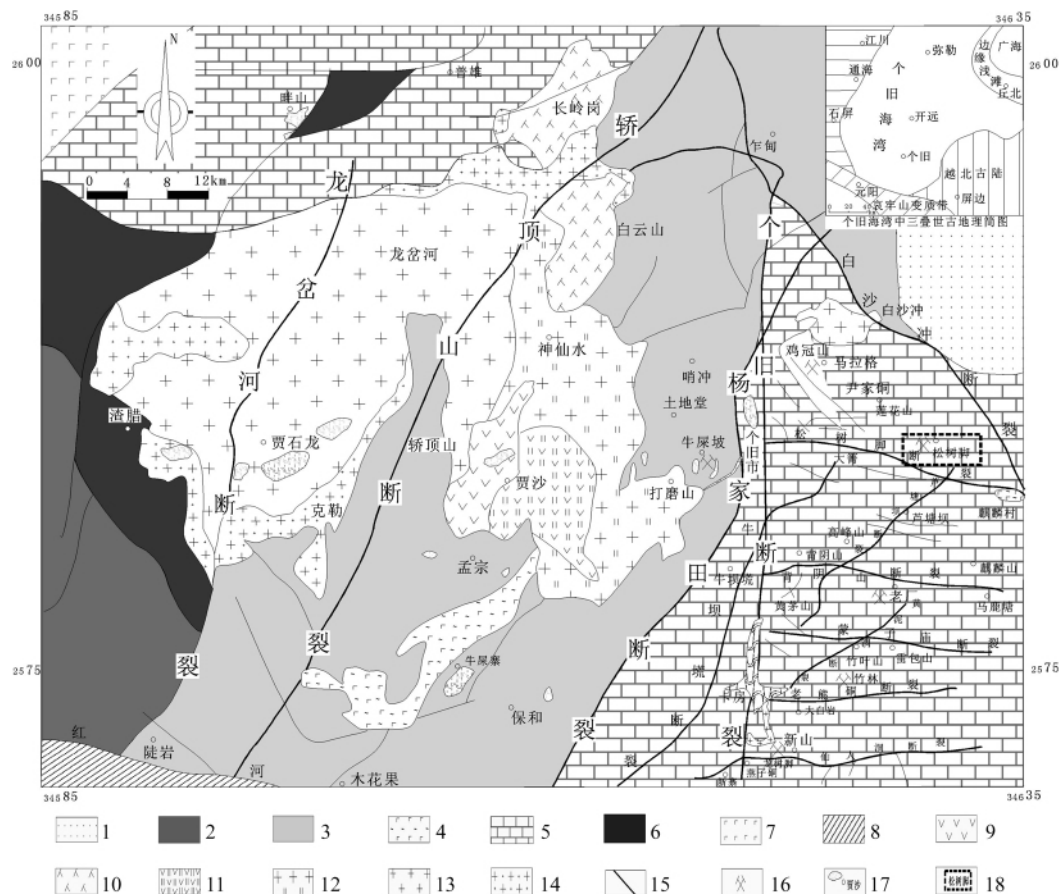
互层,主要分布于东矿区的南段;马拉格段(T_{2g_2})以白云岩为主,夹不规则状灰岩,具锡、铜、铅、锌、银矿化,主要分布于东矿区的中段;白泥洞段(T_{2g_3})以灰岩为主,夹不规则状白云岩,具锡、铅、锌矿化,主要分布于东矿区的北段^[16]。松树脚矿田位于个旧锡矿矿集区的东北部,面积约2.4 km²,为一大型锡、铜矿田^[14],目前以开采“层间氧化矿”为主。

“层间氧化矿”是个旧锡矿田中一类重要的工业类型,大部分矿体具有明显的层控特征。在个旧锡矿田范围内,“层间氧化矿”型矿床泛指产于花岗岩接触带上部围岩中的层控矿床,一般离花岗岩体几十米至上千米,矿体形态以简单层状、复合多层状(高松矿田芦塘坝矿段10[#]矿群)(图3)、似层状和透镜状(马拉格、卡房、松树脚等)为主。我们根据近年来的研究结果,将“层间氧化矿”进一步划分为如下矿石类型:块状硫化矿,块状褐铁矿,土状混合矿,锡石-赤铁矿-方解石脉状矿,白云岩型矿,土状赤铁矿,其中前三种矿石类型常常紧密共生,规模也较大,后三种矿石类型一般规模较小,相对较为少见。

块状硫化矿型矿石:主要组成矿物为硫化物(胶状黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿等)脉石矿物很少,主要为石英(经常具有自形结构)、白云石和萤石,锡石一般呈浸染状分布。根据镜下观察,生成次序如下:早期(胶状、鲕状)黄铁矿、中期磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂和方铅矿等,晚期石英、白云石、萤石。块状硫化矿型矿石一般分布在层间氧化矿体的中心或者主要成矿断裂的边缘,在没有氧化的剖面,可以观察到块状硫化矿型矿石的顶底板基本为平整过渡的碳酸盐岩,主要蚀变为白云岩化,没有发现夕卡岩化或者明显的硅化。

块状褐铁矿型矿石:主要组成矿物为针铁矿和纤铁矿,在与块状褐铁矿型矿石接触部位的矿石常残留有硫化物,围绕块状硫化矿型矿石产出,常形成包壳结构(中心为块状硫化矿型矿石,壳体为块状褐铁矿型矿石)。

土状混合矿型矿石:主要组成矿物为粘土矿物、针铁矿、赤铁矿、黄钾铁矾、白云石、锡石等。该类型矿石的形成比较复杂,主要可以分成原地型和迁移型2种亚类,原地型是与块状硫化矿型和块状褐铁矿型紧密共生的,一般分布在它们的顶部或边部,有时在底部也有发现,和块状硫化



1-第四系沉积物 2-上三叠统火把冲组板岩、砂岩、砂砾岩 3-中三叠统法郎组砂岩、页岩夹凝灰岩 4-中三叠世变玄武岩 5-中三叠统个旧组碳酸盐岩 6-下三叠统紫红色砂岩夹绿色砂岩、泥灰岩 7-二叠纪峨眉山玄武岩 8-哀牢山变质带 9-辉长岩 10-霏长岩 正长岩 11-含闪长质包体的碱长花岗岩(原二长岩) 12-碱长花岗岩 13-斑状黑云母花岗岩 14-等粒黑云母花岗岩 15-断层 16-矿区 17-城镇及村庄 18-研究区

图2 个旧地区地质简图及个旧地区中三叠世古地理简图(据 308 地质队,1984 资料修改)

Fig. 2. Geological and the middle Triassic geographic sketch of Gejiu area .

矿、块状褐铁矿型矿石一起构成丘状或透镜状综合矿体。这种矿体组成结构是松矿大部分“层间氧化矿”的构成模式; 迁移型是古卤水池破裂后卤水沿着一些水下通道迁移, 最后沉淀形成指状矿(如马拉格)或管状矿(如松矿 193 号矿体, 顺层延伸 2 km 左右), 矿体的顶板平整, 底板因冲刷成为沟渠状并向两侧逐渐延伸成为整合接触, 这种矿石类型中基本不含或少见硫化物。

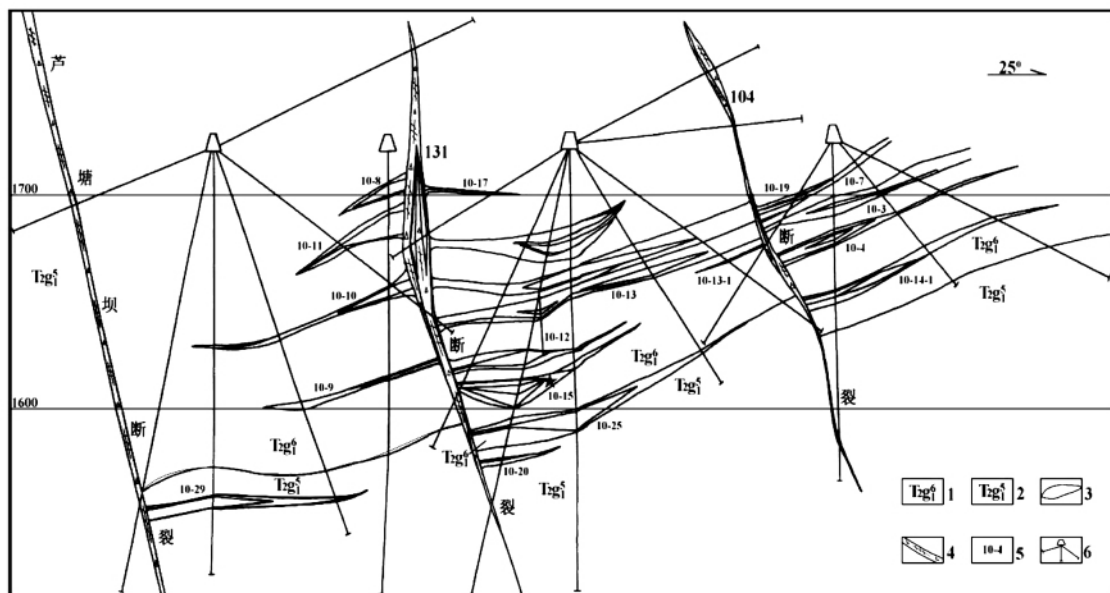
锡石-赤铁矿-方解石脉状矿石: 主要组成矿物为方解石、锡石、角砾状肾状赤铁矿, 属于穿层的锡石-赤铁矿-方解石脉体, 一般穿透块状硫化矿型和块状褐铁矿型矿石的底板碳酸盐岩, 局部进入块状硫化矿型和块状褐铁矿型矿石中成为小的丘状体, 目前未发现穿透顶板的现象。脉体宽度不一, 一般 10 ~ 50 cm, 延伸不大, 未遭受后期

构造破坏。根据产状推测这种类型的脉体是热水活动保留的柱状体。

白云岩型矿石: 主体是白云岩或白云质灰岩, 后期被具有氧化性质的锡石-方解石细脉交代, 形成矿体。碳酸盐脉状矿型矿石周边一般伴生有一定规模的白云岩型矿石, 如松矿 10-15 矿体的底板; 如果是顺层交代, 则形成层状白云岩型矿石。

土状赤铁矿型矿石: 主体是顺层分布的土状赤铁矿, 颜色为鲜艳单一的樱桃红或赤红色, 主要矿物是赤铁矿, 一般规模较小, 金祖德和彭张翔等对这种矿石进行了较为详细的描述和讨论^[19-21]。

根据对松矿多层“层间氧化矿”的考察, 大部分的层间氧化矿的构成主体是块状硫化矿型、块状褐铁矿型和土状混合矿型矿石; 土状赤铁矿型规模普遍较小, 许多地方厚度只有几厘米; 由于开



1-2-中三叠统个旧组卡房段灰质白云岩、白云岩; 3-硫化矿或氧化矿锡铅铜矿体; 4-断裂带; 5-矿体编号; 6-钻窝及钻孔

图3 高松矿田芦塘坝矿段层间矿10#矿群横剖面图(据云南有色地质勘查局308队资料)

Fig. 3. The cross section map of 10# ore body groups of "Interstratified oxidized ore" in Lutangba ore section of Gaosong ore field.

采的制约,许多矿体的底板没有详细揭露,锡石-赤铁矿-方解石脉型矿石发现较少,白云岩型矿石多数时候需要化学分析圈定矿体,但是这两种类型的详细研究是对层间氧化矿成因最好的揭示,本文对其中的锡石-赤铁矿-方解石脉状矿石进行重点阐述和分析。

3 锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体地质特征

高松矿田芦塘坝矿段和马拉格矿田是“层间氧化矿”的2个主要产区^[16],以高松矿田芦塘坝矿段最为典型,其中比较厚大的矿体有4~5层。本文所报道的的锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体产在高松矿田芦塘坝矿段1660中段10-15剖面(图3五角星处为发现位置),呈脉状产出,产状近直立。脉宽约0.3m,厚度及底部延伸不可见。该锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体顶板为一套约1.5m厚的“层间氧化矿”,该“层间氧化矿”以发育块状褐铁矿为主,厚0.3~1.0m,其中局部发育透镜状和团块状硫化矿而呈现包壳结构。在块状褐铁矿顶部则为一套灰褐色土状混合矿,因有泥质成分的加入而呈松散状,主要组成矿物为粘土矿物、针铁矿、赤铁矿、黄钾铁帆、锡石、白云石、方解石等。锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体上端在

采矿过程中已遭受破坏,但在顶板“层间氧化矿”中未见延伸。测试分析显示,矿体两侧为一套含锡白云岩,在该白云岩中,越远离脉体锡矿化越弱。整个剖面看似一棵枝叶繁茂的大树,上覆层状矿体构成树冠,而锡石-赤铁矿-方解石脉体则为树干(图4)。

观察发现,锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体中

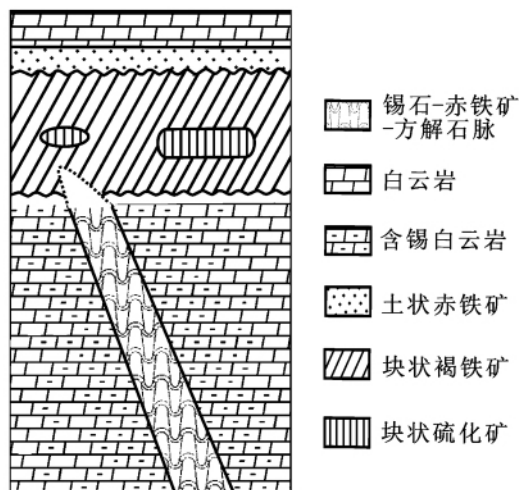


图4 脉体产状示意图

Fig. 4. Schematic diagram of vein-type orebody occurrence.

角砾大量发育,角砾大小不等,大者可达数厘米,小者则只有几毫米甚至更小。角砾成分主要为赤铁矿、褐铁矿及菱铁矿,胶结物则以方解石脉和赤铁矿脉为主(图5)。脉体两侧围岩也因蚀变作用而呈暗红色。

3.1 矿物学特征

新发现的锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体中主要矿石矿物为赤铁矿和锡石,其次还发育少量针铁矿和菱铁矿,脉石矿物为方解石及少量粘土矿物。其中赤铁矿有2种产出形态,一种呈蠕虫状和不规则状(图6a),钢灰色,反射光下具金属光泽。局部放大后,可见针铁矿呈针柱状沿赤铁矿边缘生长构成“鸟眼”构造(图6b);另一种赤铁矿则呈粒状和角砾状产出,含量较少,一般具有黄铁矿或磁黄铁矿假象结构,表明这类赤铁矿为早期形成的硫化矿中黄铁矿或磁黄铁矿被晚期氧化性含矿流体打碎交代氧化胶结而成(图6c、d)。锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体中锡石主要呈细脉状及浸染状产出,锡石单颗粒自形程度较高,粒径0.02~0.15 mm,主要呈四方柱与四方双锥的聚形自形晶,亦见半自形或他形颗粒。该锡石-赤铁矿-方解石脉体在矿区发育较少,但含锡品位高。脉体中方解石受铁染较强,色彩浑浊暗淡,晶型发育相对较差。从锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体矿石镜下照片及EPMA背散射电子图象可以看到,锡石呈细脉状和浸染状分布在方解石中(图6e、f),表明锡石和方解石是同期或者近于同期形成。

在“层间氧化矿”矿体内发育有团块状、透镜状硫化矿,硫化矿中不透明矿物以磁黄铁矿和黄铁矿为主,其次为毒砂和极少量黄铜矿。透明矿

物较少,主要为石英和萤石。块状硫化矿中黄铁矿发育大量鲕状结构和胶状结构(图6g、h、i),部分被磁黄铁矿穿切交代而呈角砾状。表明硫化矿至少存在2期,整个过程主要受硫含量的控制,早期以形成鲕状黄铁矿为主,而晚期以形成磁黄铁矿为主。块状硫化矿外围则包裹着一层致密的褐铁矿,褐铁矿厚达0.3~1 m,延升可达数十米。褐铁矿之上为一套土状氧化矿,其中矿物以赤铁矿为主,其次为方解石、白云石及粘土矿物。而“层间氧化矿”矿体顶底板为一套含锡白云岩或灰岩,无硅化蚀变现象,矿体与顶底板围岩地层接触面平整无溶蚀。

4 讨论

Franklin等^[22]在北美西海岸的Gorda洋脊进行考察时,发现在洋底热泉(喷气口)附近块状磁黄铁矿矿石中锡的品位达0.46%,这一发现为热水沉积成矿作用能够形成锡矿床提供了强有力的证据。调研显示,越来越多的事实表明海底喷流作用是形成锡矿的一个重要途径,块状硫化物矿床富Sn的现象已很普遍。例如加拿大地盾中太古代Kidd Creek和South Bay铅锌矿中的锡品位分别为0.14%和0.25%;加拿大著名的以沉积岩为主岩的Sullivan层控铅锌银矿床含Sn平均0.05%,局部可达2%^[23];加拿大Brunswick地区奥陶纪块状硫化物矿床,Sn品位在0.05%~0.1%之间;澳大利亚塔斯马尼亚西部的Renison Bell、Bischoff矿床是与基性火山活动有关的海相火山沉积矿床,其块状硫化物中有大量同生沉积成因的Sn矿体存在;瑞典Boliden块状硫化物矿床含Sn 0.06%;挪威古生代Blieivassli块状硫化物矿

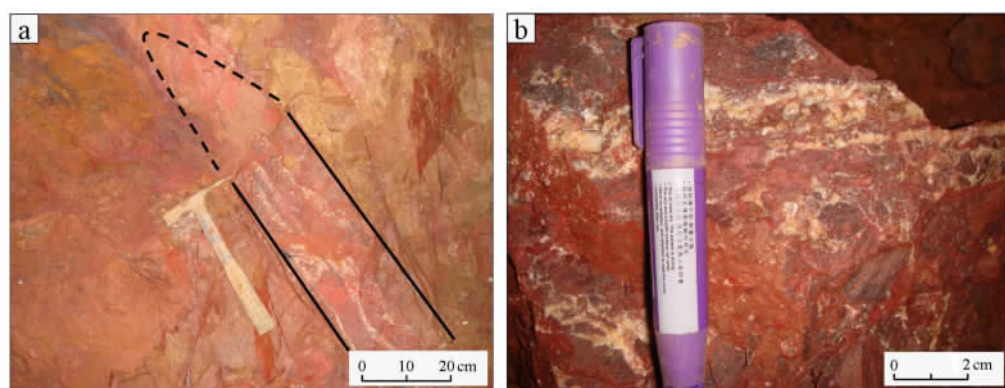
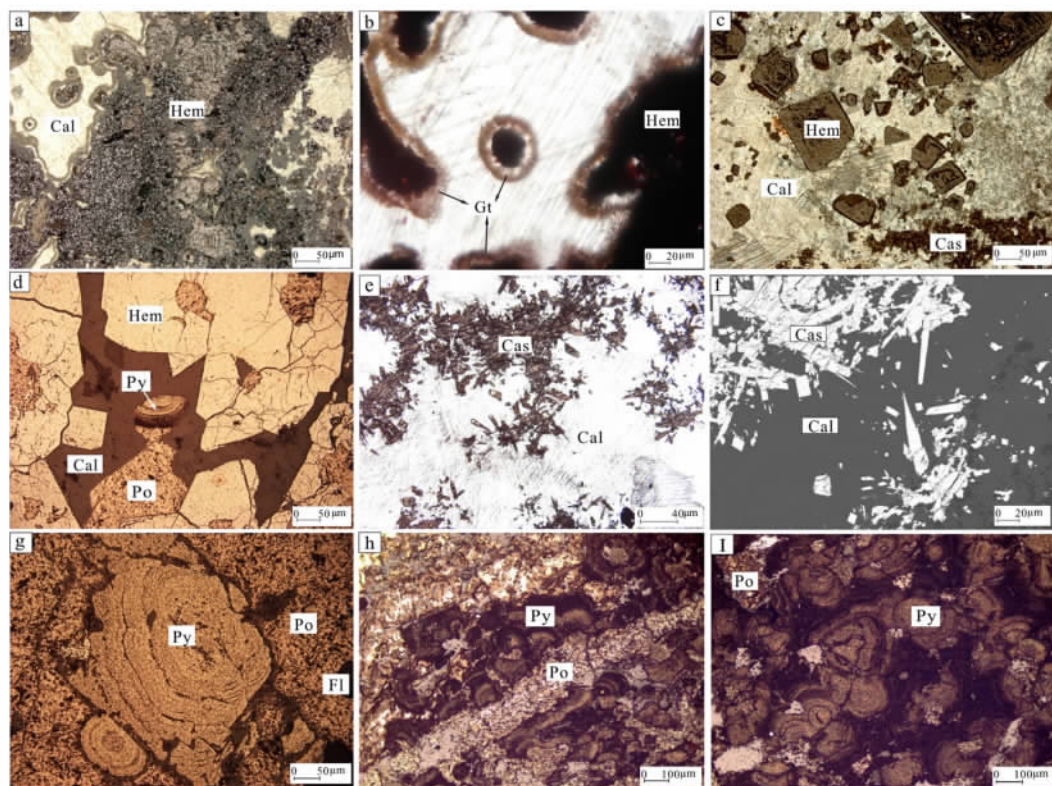


图5 锡石-赤铁矿-方解石脉体及矿石手标本照片



a. 锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体矿石中蠕虫状、不规则状赤铁矿 (Hem); b. 针铁矿 (Gt) 呈针柱状沿赤铁矿 (Hem) 边缘生长组成“鸟眼”构造; c. 锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体矿石中保留黄铁矿假象的角砾状赤铁矿; d. 锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体矿石中黄铁矿 (Py) 和磁黄铁矿 (Po) 角砾; e. 锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体矿石镜下照片, Cas-锡石, Cal-方解石; f. 锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体矿石 EPMA 背散射电子图象; g. 硫化矿中磁黄铁矿 (Po) 胶结早期鲕状黄铁矿 (Py); h. 磁黄铁矿细脉穿切交代鲕状黄铁矿; i. 硫化矿中发育大量鲕状、胶状结构

图6 锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体中矿物镜下照片

Fig. 6. Microphotographs of minerals in cassiterite-hematite-calcite vein-type orebody.

床中, Sn 品位达 0.03%^[27]; 葡萄牙伊比利亚黄铁矿带中的 Neves Corvo 块状硫化物矿床中约有 $2.8 \times 10^6 \sim 4.0 \times 10^6$ t 矿石中含锡为 2.6%^[28]; 印度尼西亚 Nam Salu 喷气成因的层控 Sn 矿床中, Sn 的品位可达 1% ~ 2%, 矿体平均厚 35 m, 长 3000 m^[29]。综上所述, 海底热水沉积作用也是锡成矿的重要途径, 而且全球范围内已有不少实例。

随着现代热水沉积作用的研究的发展、层控锡矿床的发现及其概念的提出, 结合个旧锡矿区内陆续发现的层状矿体, 一些学者开始重新审视个旧锡矿的成因, 并对这些观点提出质疑^[19-21, 30-33]。周怀阳通过对个旧与大厂两个超大型锡多金属块状硫化物矿床的对比研究, 认为在这两个矿区存在热水沉积成矿作用和与燕山期花岗岩浆热液有关的成矿作用^[34]。周建平^[1-2, 35]发现海底喷流沉积证据—鲕状、胶状黄铁矿以及丝状管型虫, 从而提出海底热液喷流成因观点。李朝阳等(2000)在探讨滇东南成矿带锡多金属矿

床成因时, 也提出个旧锡矿床为块状硫化物矿床, 认为层状硫化物矿体主要为喷流成因, 矿区内的燕山期花岗岩是在主成矿作用之后侵入的, 花岗岩浆的侵入只是对矿体进行了热液叠加改造的观点。近三十年来, 南京大学、中科院地化所、云锡公司、昆明理工大学的一些专家学者相继对个旧锡矿成因进行了研究^[1-6, 8], 也认为个旧锡矿是多种地质作用的综合产物, 具有多来源, 多期次成矿特点, 经历了海底火山喷流热水沉积和燕山晚期岩浆热液的叠加改造成矿过程。对于层状矿体, 热水沉积作用可能起到了更大作用, 根据热水沉积加花岗岩改造的成矿模式, 在大马芦地区的找矿取得了丰硕的成果。

通常认为, 个旧锡矿田中“层间氧化矿”是由原生的含硫化物的矿石在后期被天水氧化淋滤而成^[5, 16, 36-37], 因而相关的成因研究较少。20世纪80年代以来, 金祖德^[19, 20]根据在个旧锡矿的多年地质观察, 最早注意到“赤铁矿型矿石”的特殊

性,并否定了其氧化成因和热液成因,认为是原生沉积成因,但其观点一直都未能引起重视。彭张翔^[21]根据“层间氧化矿”特征的层控性,认为其应为同生沉积成因。张欢等^[3,4]在金祖德和彭张翔的基础上,通过与现代典型的红海型热水沉积实例对比,进一步提出个旧锡矿的“层间氧化矿”不存在后期天水氧化的基础,而应是原始热水沉积成因。毛景文等将“层间氧化矿”划为 manto 型,并译为沿层交代型^[9,38]。由于“层间氧化矿”在个旧锡矿田的重要性和独特性,其成因的正确解释对矿山后续找矿工作和成矿理论的完善具有重要意义,锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体的发现,为探讨“层间氧化矿”的成因有着重要的指示意义。

4.1 现代红海海底铁氧化物成因

有关铁氧化物沉积最典型的是现代红海中的一系列热卤水沉积物。现代红海是始新世末开始分裂的狭窄陆间深海盆地,它提供一个中低温硫化物的热水池模式。其岩性剖面中碳酸盐岩相、硫化物相以及氧化物相三者呈互层产出^[39],与个旧锡矿“层间氧化矿”的岩性剖面极为相似。

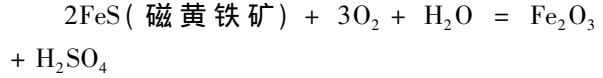
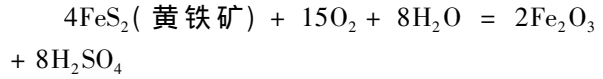
在红海卤水池中,卤水具有强烈的分层现象,在主要分层界面附近存在强氧化环境,适于锡石的沉淀富集^[40-41]。以阿特兰蒂斯 II 号深渊为例来讨论决定含矿物质主要矿物相形成的地球化学过程,充填盆地的卤水有非常明显的层理,卤水层主要分为两层,它们在密度、温度、盐度、酸碱性和化学成分上都不一样^[42]。成矿元素及其络合物在分层处因物理化学条件的改变而沉淀成矿^[39],这是一种自海水向海底沉积物的从上到下的热卤水分层氧化模式。

张欢等^[4]通过与现代典型的红海型热水沉积实例对比,认为个旧锡矿的情况与红海型热水沉积比较接近。红海型热水沉积中较厚的铁蒙脱石相和非晶质铁氧化物相在经历后期成岩作用后,最终可以转变成层状褐铁矿型矿石和赤铁矿型矿石,而硫化物相较为稳定,可以块状硫化物的形式保存下来。

4.2 个旧锡矿“层间氧化矿”的成因探讨

根据井下观察,个旧锡矿田中“层间氧化矿”型矿床绝大多数与顶底板碳酸盐岩围岩地层平整接触,接触面没有溶蚀现象,且顶底板围岩也没有硅化蚀变。假设如此大规模的“层间氧化矿”都

是由后期地下水氧化淋滤原生硫化矿而成,其简单化学反应式如下:



在此氧化过程中会产生大量的硫酸,这些硫酸进一步与围岩碳酸盐岩反应,势必导致围岩碳酸盐岩的大量消耗,形成大量的层间坍塌、溶洞、围岩角砾等溶蚀现象。但事实并非如此,可见此假设并不成立。那么,“层间氧化矿”型矿床主体的形成过程是怎样的呢?

各种现象表明,新发现的锡石-赤铁矿-方解石矿体显示了含矿流体通道相的特征:

(1) 矿体产状近直立,从脉体中心到外围,锡矿化程度逐渐减弱;

(2) 该脉体中角砾及早期矿物假象角砾的大量发育,显示了流体通道中晚期流体打碎胶结早期沉积物的成矿过程。

20 世纪末,海底黑烟囱相关硫化物的发现,极大地改变了人类对海洋中矿产和生物资源的认识。海底黑烟囱还是研究金属成矿过程与极端环境下生命活动的理想实验室。根据海底热液温度及喷出的矿物成分,一般将海底热液烟囱划分为:①黑烟囱,热液温度为 320~400℃,以硫化物为主;②白烟囱,热液温度为 100~320℃,以硫酸盐(重晶石、硬石膏)、非晶质 SiO₂ 及闪锌矿为主;③低温喷口,热液温度低于 100℃,主要为碳酸盐或非晶质 SiO₂。这 3 种类型的形成过程不仅仅是一个温度降低的过程,也是一个从还原环境逐渐向氧化环境转化的过程^[43-47]。这为本文中锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体所在剖面各类型矿石的形成过程提供了合理的解释。

根据锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体及其所在剖面野外现象和镜下矿物间穿插关系,可以将成矿流体的演化过程主要分为还原阶段、氧化阶段和碳酸盐阶段。成矿流体运移的整个过程是一个从还原向氧化转变的过程,即在还原阶段,还原性成矿流体形成块状硫化矿,其中矿石矿物主要为(鲕状、胶状)黄铁矿和磁黄铁矿,其次为黄铜矿及毒砂等,脉石矿物较少,主要有石英、萤石和方解石。而在氧化阶段,成矿流体充分显示了氧化性特征,将先前形成的部分块状硫化物氧化交代,形成块状褐铁矿型矿体。同时,由于流体通道中

和通道口附近温度较高,富含 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体和 Fe^{3+} 的成矿流体不能沉淀下来,而向远端迁移,在远端由于温度下降,最终沉淀下来,形成块状褐铁矿和土状赤铁矿。之后,成矿流体的演化进入碳酸盐阶段,本阶段成矿流体仍具有较高的氧逸度,这些碳酸盐流体打碎胶结先前形成的矿体然后沉淀,并堵塞早期成矿流体运移的通道,而锡的络合物也在本期得以大量沉淀形成锡石,锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体就是本期产物。

对比红海型热水沉积特征,个旧“层间氧化矿”型矿体和红海海底铁锰氧化物型矿体两者不仅可以存在自海水向海底沉积物、从上到下的热卤水分层氧化模式。同时,也可以存在自地下深部向海底的从下而上的氧化过程:即成矿流体在通道中逐步被氧化,早期的还原性成矿流体以块状硫化物形式沉积下来,之后该还原性成矿流体受到围岩的同化混染作用以及上层高氧逸度流体的加入等因素的影响而逐渐向强氧化性过渡,并将先前形成的部分块状硫化物氧化,而晚期的强氧化性成矿流体则直接以氧化物形式沉积成矿。整个过程可细分为多个旋回,这也是个旧锡矿田中“层间氧化矿”型矿床呈多层产出背景的合理解释。

通过上述讨论可以清楚认识到,锡石-赤铁矿-方解石脉状矿体所在位置正是早期成矿流体运移的通道。同时可得出,“层间氧化矿”可以是原生成因,即在印支晚期,本区在拉张裂谷背景下伴随多次基性火山活动和火山沉积成矿及喷流热水沉积成矿作用,“层间氧化矿”型矿床的主体很可能就是这个时期的产物。且在成矿晚期,成矿流体的演化进入碳酸盐阶段,而新发现的锡石-赤铁矿-方解石脉体则是原始通道被晚期的碳酸盐阶段成矿流体沉淀充填形成,并导致围岩的含锡

白云岩化。

5 结 论

(1) 在个旧锡矿松树脚矿区和马拉格矿区新发现锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体,该锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体显示了含矿流体通道相的特征。

(2) 个旧锡矿“层间氧化矿”的主体并非由硫化物型矿石在后期被天水氧化淋滤形成,而很可能是原生成因。这种原生成因除了自海水向海底沉积物从上到下的热卤水分层氧化模式以外,还存在另一种氧化过程,即成矿流体在通道里面运移的过程中逐步由地下深部向浅部氧化的至下而上氧化模式:早期还原性成矿流体形成块状硫化物,之后由于各种地质条件和物理化学条件的改变(如围岩地层的同化混染、上层高氧逸度流体的加入以及温压的改变等),致使该还原性成矿流体演化形成氧化型成矿流体,并将部分早先形成的硫化物氧化交代形成块状褐铁矿,而携带了大量 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体和 Fe^{3+} 的成矿流体则向远端迁移,最终因温度等物理化学条件改变而沉淀下来,形成土状赤铁矿和部分块状褐铁矿。同时,通道中的成矿流体的演化进入了碳酸盐阶段,新发现的锡石-赤铁矿-方解石脉型矿体则是原始通道被碳酸盐阶段成矿流体沉淀充填形成,并导致围岩的含锡白云岩化。

致谢:笔者在个旧矿区的野外工作期间,得到云锡公司童祥总工程师,松树脚矿部康德明队长,朱文捷高级工程师,陈杰工程师,卡房矿部杨文宝高级工程师,老厂矿部王海云高级工程师,朱华全高级工程师,李彬高级工程师,高瑞工程师以及矿山其他工作人员的大力协助,成文过程中得到周家喜博士和张建光博士的帮助,在此向他们表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] 周建平,徐克勤.滇东南锡多金属矿床成因商榷[J].云南地质,1997,16(4):309-349.
- [2] 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.
- [3] 张欢,高振敏,马德云等.云南个旧锡矿床成因研究综述[J].地质地球化学,2003,31(3):70-75.
- [4] 张欢,童祥,伍俊德等.个旧锡矿——红海型热水沉积登陆的实例[J].矿物学报,2007,27(4):335-341.
- [5] 秦德先,黎应书,谈树成等.个旧锡铜多金属矿床地质研究[M].北京:科学出版社,2008:15-33.
- [6] 秦德先,黎应书,谈树成等.云南个旧锡矿的成矿时代[J].地质科学,2006,41(1):122-132.
- [7] 黎应书,秦德先,党玉涛等.云南个旧锡矿的玄武岩成矿[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(3):326-335.
- [8] 黎应书,秦德先,程细音等.个旧锡矿区印支期喷流热水沉积成矿的证据[J].有色金属,2009,61(3):119-125.
- [9] 毛景文,程彦博,郭春丽等.云南个旧锡矿田:矿床模型及若干问题讨论[J].地质学报,2008,82(11):1455-1467.
- [10] Taylor R G. 云南省地质科学研究所情报室和西南冶金地质勘探公司地质研究所情报室,合译.锡矿床地质学[M].北京:地质出版社,1987.

- 版社,1983.
- [11] Lehmann B. Formation of the strata-bound Kellhuani tin deposits, Bolivia [J]. *Mineralium Deposita*, 1985, 20(3): 169-176.
- [12] Macey P, Harris C. Stable isotope and fluid inclusion evidence for the origin of the Brandberg West area Sn-W vein deposits, NW Namibia [J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41(7): 671-690.
- [13] Naumov V, Kamenetsky V. Silicate and salt melts in the genesis of the industrial tin deposit: Evidence from inclusions in minerals [J]. *Geochemistry International*, 2006, 44(12): 1181-1190.
- [14] 云南省有色地质局308队等. 个旧锡矿地质[M]. 北京:冶金工业出版社,1984:50-172.
- [15] 陈毓川,黄民智等. 大厂锡矿地质[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [16] 庄永秋,王任重,杨树培等. 云南个旧锡铜多金属矿床[M]. 北京:地震出版社,1996.
- [17] 陈骏,王汝成等. 锡的地球化学[M]. 南京:南京大学出版社,2000.
- [18] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990:105-201.
- [19] 金祖德. 个旧土状赤铁矿型锡矿成因的商榷[J]. 地质与勘探,1981,17:32-34.
- [20] 金祖德. 个旧层间赤铁矿型锡矿热液成因之否定[J]. 地质与勘探,1991,(1):19-20.
- [21] 彭张翔. 个旧锡矿成矿模式商榷[J]. 云南地质,1992,11(4):362-368.
- [22] Franklin J M, Lydon W, et al. Volcanic-associated massive sulfide deposits [J]. *Economic Geology*, 1981, 75:485-627.
- [23] Mulligan R C. Commission géologique du. Geology of Canadian tin occurrences [M]. *Dept of Energy, Mines and Resources*, 1974.
- [24] Hutchinson R W. Exhalative genetic evidences on Tasmania tin deposits [J]. *CIM Bulletin*, 1979, 72: 96-104.
- [25] Hutchinson R W. Evidence of exhalative origin for Tasmanian tin deposits [J]. *Trans Canadian Ins Min Metall*, 1979, 82: 116-130.
- [26] Plimer I R. Broken Hill Pb-Zn-Ag deposit—a product of mantle metasomatism [J]. *Mineralium Deposita*, 1985, 20: 147-153.
- [27] Vokes F M. Cassiterite in the Bleikvassli ore [J]. *Norsk Geologisk Tidsskrift: Contributions to the Mineralogy of Norway*, 1960, 40(7): 193-201.
- [28] Lehmann B. *Metallogeny of Tin* [M]. Berlin: Springer Verlag, 1990.
- [29] Schwartz M O. Surjono. The strata-bound tin deposit Nam Salu, Kelapa Kampit [J]. *Indonesia Econ Geol*, 1990, 85: 76-98.
- [30] 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学(第一卷) [M]. 北京:科学出版社,1984.
- [31] 涂光炽. 广西大厂矿床成因并兼论锡石硫化物矿物形成条件[A]. 锡矿地质讨论会论文集(中国) [C]. 北京:地质出版社, 1987: 105-109.
- [32] 徐克勤,朱金初. 华南钨锡矿床的时空分布和成矿控制[A]. 锡矿地质讨论会论文集[C]. 北京:地质出版社,1987:50-59.
- [33] 徐克勤,王鹤年. 论华南喷流-沉积块状硫化物矿床[J]. 高校地质学报,1996,2(3):241-256.
- [34] 周怀阳. 论个旧-大厂地区火山喷气沉积-花岗岩热液叠加改造型锡石硫化物矿床的地质特征及其成矿地质条件[D]. 南京:南京大学,1988.
- [35] 周建平,徐克勤. 个旧等锡矿中沉积组构的发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展,1999,9(5):419-422.
- [36] 刘锦新,李希勤. 云南个旧锡矿的特点及成矿规律[J]. 地质学报,1957,37(4):373-399.
- [37] 赖大信. 个旧锡矿大茅芦层间氧化矿床地质特征及找矿方向研究[J]. 矿产与地质,2005,19(1):25-28.
- [38] 程彦博,毛景文. Manto型锡矿:一种重要的Sn成矿作用[J]. 矿物学报,2009,29(z1):5-6.
- [39] Brockamp O, Goulart E, et al. Amorphous copper and zinc sulfides in the metalliferous sediments of the Red Sea [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1978, 68(1): 85-88.
- [40] 吴世迎. 世界海底热液硫化物资源[M]. 北京:海洋出版社,2000.
- [41] Pierre A, Gerard B, Peter S. Origin of fluids and the evolution of the Atlantis II deep hydrothermal system, Red Sea: Strontium isotope study [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(23): 4799-4808.
- [42] 张立生. 红海裂谷带中的热液-沉积成矿作用[J]. 地质科学译丛,1994,11(2):1-7.
- [43] Crane K. Hydrothermal vents in Lake Baikal [J]. *Nature*, 1991, 350: 281.
- [44] Tiercelin J, Pflumio C, Castrec M, et al. Hydrothermal vents in lake Tanganyika, East African rift system [J]. *Geology*, 1993, 21: 499-502.
- [45] Tunncliffe V, Fowler C M R, McArthur A G. Plate tectonic history and hot vent biogeography [A]. Macleod C J, Tyler P A, Walker C L. *Tectonic, Magmatic, Hydrothermal and Biological Segmentation of Mid-Ocean Ridges* [C]. Geological Society, London Special Publication, 1996, 118: 225-238.
- [46] Takai K, Komatsu T, et al. Distribution of archaea in a black smoker chimney structure [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, 67(8): 3618-3629.
- [47] 李江海,牛向龙,冯军. 海底黑烟囱的识别研究及其科学意义[J]. 地球科学进展,2004,19(1):17-25.

Geological Characteristics of Cassiterite-Hematite-Calcite Vein-Type Orebody and Its Geological Significance in Gejiu Tin Deposits

QIAN Zhi-kuan^{1,2}, WU Jun-de³, Kang De-ming³, LU Rong-yu³, YANG Bao-fu³,
HU Yong³, LUO Tai-yi¹, HUANG Zhi-long¹

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Group Company of Stannary Gejiu in Yunnan, Gejiu 661000, China)

Abstract: Cassiterite-hematite-calcite vein-type orebody was found in Songshujiao mining area of Gejiu Tin-deposit, and was reported in this paper. Preliminary study shows that the vein-type orebody is the result of the late ore-forming fluid condensated in the transport channel. The paper also preliminarily discussed the cause of its genesis. According to the comparison between the Gejiu tin-polymetallic deposits and the Red Sea-type hydrothermal deposits, we believe that there are two models for the "Interstratified oxidized ore" of the Gejiu and the Red Sea-type orebodies; one is thermal brine staged oxidize from the top down, and another is ore-forming fluid oxidized from the bottom up gradually.

Key words: geological characteristics; cassiterite-hematite-calcite; transport channel; Gejiu, Yunnan