

保山镇康地块矽卡岩型铅锌矿床成因初探

杨玉龙^{1,2}, 叶霖¹, 程增涛^{1,2}, 鲍谈^{1,2}, 高伟³

(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; 3. 中化地质矿山总局 山东地质勘查院, 山东 济南 250013)

摘要: 保山镇康地块是“三江”南段重要的铅锌多金属成矿区之一, 地质构造复杂, 铅锌成矿地质条件优越, 其中核桃坪与芦子园是近年发现的两个大型铅锌矿床, 矿床受近 NE 向断裂、背斜轴部和地层控制明显, 上寒武统核桃坪组与沙河床组大理岩化灰岩为主要赋矿地层, 近矿围岩矽卡岩化强烈, 流体包裹体、Pb、S、H、O 同位素和微量元素等地球化学对比研究表明, 核桃坪和芦子园铅锌矿床均经历了中温、高温两个矿化阶段, 核桃坪铅锌矿床矿石铅同位素较芦子园铅锌矿床有较高的比值和较大的变化范围, 均以高 μ 值为特征, 属于放射性成因铅, 暗示其成矿物质以壳源铅为主, 硫化物硫同位素均多为较低正值并呈塔式分布, 具有岩浆硫特征, 两者均无生物硫酸盐热化学还原作用的参与, 其中硫同位素分馏已达平衡; 与硫化物共生的石英 δD_{H_2O} ($-109\text{‰} \sim -91\text{‰}$) 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$ ($-4.3\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$) 同位素研究表明核桃坪矿床成矿流体主要来自深部岩浆水, 并遭受后期大气降水或地层水的混合, 核桃坪矿床与芦子园矿床的微量元素具有岩浆热液型矿床特征, 不同于 VMS 型、MVT 型铅锌矿床。因此, 笔者认为两个矿床应属于与深部隐伏岩体有关的中-高温矽卡岩型铅锌矿床, 矿区深部隐伏岩体的侵入产生岩浆热液并携带 Pb、Zn 等成矿物质与地层水或大气降水混合, 在背斜轴部与 NE 向断裂的交汇处形成该类型矿床。

关键词: 保山镇康地块, 矽卡岩型铅锌矿床, 流体包裹体, 同位素地球化学, 成矿流体

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)04-0554-11

A tentative discussion on the genesis of skarn Pb-Zn deposits in the Baoshan-Zhenkang terrane

YANG Yu-long^{1,2}, YE Lin¹, CHENG Zeng-tao^{1,2}, BAO Tan^{1,2} and GAO Wei³

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Jinan 250013, China)

Abstract: The Baoshan-Zhenkang terrane is one of the important lead-zinc polymetallic orefields in the southern part of the Sanjiang metallogenic belt, with complex geology and tectonics as well as very favorable Pb-Zn mineralization conditions. Two large-size Pb-Zn deposits were recently discovered in the Hetaoping and Luziyuang ore districts, which are apparently controlled by approximately NE-trending faults, anticlinal axis and strata. Marbleized limestone of Upper Cambrian Hetaoping and Shahechuang Formation is the ore-bearing horizon in this area, with proximal strong skarnization. Based on a comparative study of geochemical characteristics of fluid inclusions, lead, sulfur, hydrogen and oxygen isotopic compositions and trace elements from the two Pb-Zn deposits, the authors have reached the follow conclusions: The Hetaoping and Luziyuang Pb-Zn deposits have expe-

收稿日期: 2012-03-01; 修订日期: 2012-05-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41173063), 973 项目(2009CB421003); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-136, KZCX2-YW-111-03)

作者简介: 杨玉龙(1986-), 硕士研究生, 从事矿床地球化学研究, E-mail: yylxiaolong@126.com; 通讯作者: 叶霖, E-mail: yelin@vip.gyig.ac.cn.

experienced medium-temperature and high-temperature ore-forming stages; Compared with lead isotope composition of the Luziyuan Pb-Zn deposit, lead isotope composition of the Hetaoping Pb-Zn deposit has a relatively high ratio and a wide range. Both ore districts, however, have radiogenic Pb isotopic ratios and are characterized by high μ values, suggesting a dominant input of Pb from crustal sources; Sulfur isotopic composition of the Hetaoping and Luziyuan deposits is characterized by lower positive $\delta^{34}\text{S}$ values and tower-type distribution, showing an involvement of deep magmatic sulfur; both ore deposits have not been subjected to the effect of biotic thermochemical reduction of sulfate, and has reached fractionation equilibrium of sulfur isotope; Hydrogen and oxygen isotope composition of quartz coexistent with sulfides indicates that the ore-forming fluid from the Hetaoping deposit was mainly derived from magmatic water with the mixture of meteoric water and stratigraphic water; The characteristics of trace elements of the two deposits are consistent with those of magmatic hydrothermal deposits, and do not resemble those of VMS type and MVT type Pb-Zn deposits. Therefore, both deposits belong to high-medium temperature skarn type Pb-Zn deposits associated with deep concealed intrusion, and the emplacement of the deep concealed intrusion in the ore districts was followed by the addition of Pb-Zn rich magmatic fluid into the intersection of anticline axis and NE-trending faults and the mixing with stratigraphic water and meteoric water, thus resulting in the formation of this type of ore deposits.

Key words: Baoshan-Zhenkang terrane; skarn-type Pb-Zn deposit; fluid inclusions; isotope geochemistry; ore-forming fluids

云南保山地块位于怒江断裂、龙陵-瑞丽断裂与柯街断裂、南汀河断裂之间,属于缅甸掸邦地块的北延部分(邓必方,1995),滇泰马地块成矿省之保山-腊戍-东枝断块铅、锌、银多金属成矿带由北至南穿过该地块(戴自希,2008;卢映祥等,2009),该成矿省位于滇泰马板块西北边缘喜马拉雅-燕山期前陆缘褶皱带,也是后期印度板块东缘现代岛弧的弧后陆壳区。由于特殊的大地构造位置和复杂的区域构造演化历史,地块内形成了丰富和颇具特色的矿产资源。目前,在我国境内发现大-中型规模铅锌矿床4个(保山核桃坪、施甸东山、龙陵勐兴和镇康芦子园)矿(化)点十余个,这些铅锌矿床(点)与缅甸包德温(Bawdwin)世界级大型铅锌矿床处同一古生代拗陷内(卢映祥等,2009)。“三江”地区是我国重要的金属矿产资源基地,长期以来的地质工作均以其北段及中段为主(Hou *et al.*, 2007),而对南段的研究相对滞后。1999年实施新一轮国土资源大调查以来发现保山地块是西南“三江”成矿带南段的重要组成部分,其中核桃坪和芦子园均是该区近年来才发现和开采的大型铅锌多金属矿山,地质研究多集中在找矿与勘探方面(赵志芳等,2002;符德贵等,2004)缺少系统的地质地球化学研究,从发表的论

文数量及其研究内容即可看出这一点。已有的研究(邓必方,1995;胡斌等,1999;陈永清等,2005;夏庆霖等,2005;朱余银等,2006;董文伟,2007;薛传东等,2008;高伟等,2011)初步表明,这两个矿床地质地球化学特征与砂卡岩型铅锌矿床较相似,本文拟通过核桃坪和芦子园与国外两个矿床地质地球化学的对比研究,探讨保山地块内同类型矿床的成矿作用,为该区内同类型铅锌多金属矿床的勘探提供理论依据。

1 区域地质特征

保山地块东临兰坪-思茅地块,西临腾冲-瑞丽地块,向南延伸至缅甸境内(Ye *et al.*, 2011)(图1),是西南“三江”地区重要的古生代沉积盆地之一。该区出露地层包括了古生界至第四系地层(云南省地质厅第十七地质队,1961^①;云南省地质矿产局第四地质大队,1993^②),以古生代地层分布面积最广、发育最完全,寒武系至二叠系浅水碎屑岩及碳酸盐岩沉积地层发育比较全(邓必方,1995),由于受区域变质作用的影响,碳酸盐岩多变质为大理岩或大理岩化灰岩,泥质岩变质为粉砂质和钙质板岩,这

① 云南省地质厅第十七地质队,1961. 云南省镇康芦子园多金属矿床评价报告. 镇康县鸿骏矿业开发有限公司.

② 云南省地质矿产局第四地质大队,1993. 云南省保山市瓦窑乡核桃坪铅锌矿区普查地质报告.

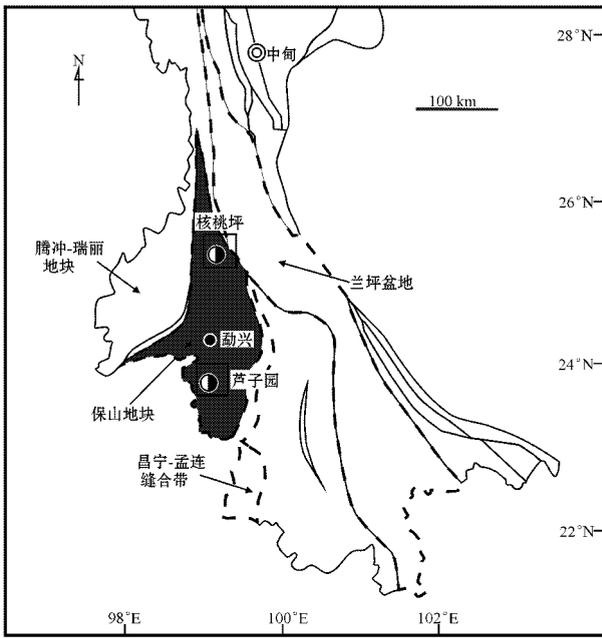


图 1 保山镇康地区区域地质简图(据 Ye *et al.*, 2011)
Fig. 1 Schematic regional geological map of Baoshan-Zhenkang area(after Ye *et al.*, 2011)

些古生界地层的沉积作用控制本区铅锌矿床的分布,其中寒武系沙河床组、核桃坪组及保山组碳酸盐岩地层和奥陶系地层是本区重要的赋矿层位(李文桦等, 1985; 夏庆霖等, 2005; 朱余银等, 2006)。区内断裂及褶皱构造发育,断裂以南北向、北东向、北西向及近东西向 4 组断裂为主,其中 NE 向断裂与成矿作用关系密切。褶皱发育包括北部的保山-施甸复式背斜、南部的镇康复式背斜及中部的勐兴背斜等,均与区域铅锌矿床分布密切相关。本区断裂与褶皱组合控矿十分明显,尤其是在断裂与褶皱的交汇处,如核桃坪铅锌矿床位于澜沧江断裂与保山复背斜的交汇部位,芦子园铅锌矿床产于南汀河断裂与镇康复背斜的交汇部位,勐兴与施甸东山铅锌矿床位于勐波河罗断裂与单斜构造的交汇处等。区域内岩浆岩以华力西期的基性火山岩为主(陈吉琛, 1989; 李文昌等, 2001; 董文伟, 2007),分布于地块北侧(如保山大雪山),而在地块南侧(镇康木厂碱性花岗岩)及澜沧江断裂带和昌宁断裂带有零星中酸性侵入岩(花岗岩)分布。这些岩体的多金属矿化现象相对普遍,其中,基性火山岩体往往伴有 Cu、Pt、Ni 矿化等贵金属矿化,而中酸性岩体则伴有 Wu、Mo、Sn、Pb、Zn、Ag、Au 和 As 等多金属矿化,如位于“昌宁-孟连古生代裂谷”旁侧镇康木厂碱性花

岗岩体,其中 Sn 的含量高达 30×10^{-6} ,岩体周围出现 Sn、Pb 和 Zn 矿化异常点,岩体外接触带有 Au 的矿化,具有明显的矿化分带现象(陈吉琛, 1989)。此外,本区重力、航磁异常及地质因素综合分析结果显示,地块北部(保山核桃坪矿区)与南部(镇康芦子园矿区)存在重力低和航磁负异常,推测深部存在隐伏中酸性岩体,且可能与这两个铅锌多金属矿床有密切的成因联系(李文昌等, 2001; 赵志芳等, 2002; 董文伟, 2007; 董文伟等, 2007)。

2 矽卡岩型铅锌矿床地质特征

本区核桃坪与芦子园矽卡岩型铅锌矿床地质特征极其相似(表 1、图 2)赋矿围岩均以寒武系碳酸盐岩为主,其中核桃坪矿床赋矿围岩为上寒武统核

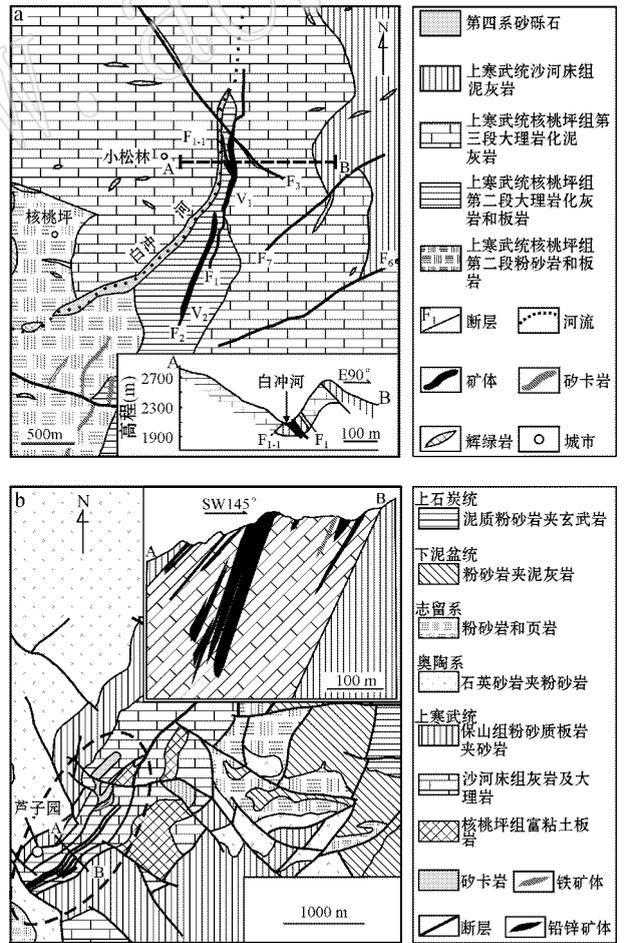


图 2 核桃坪矿区(a)与芦子园矿区(b)地质简图(据 Ye *et al.*, 2011)
Fig. 2 Geological sketch map of the Hetaoping (a) and Luziyuan (b) ore district(after Ye *et al.*, 2011)

表1 保山地区矽卡岩型铅锌矿床地质地球化学特征对比表

Table 1 Main geological and geochemical characteristics of skarn Pb-Zn deposits hosted by Baoshan terrane

		核桃坪矿床	芦子园矿床
赋矿地层		上寒武统核桃坪组	上寒武统沙河床组
矿体产出特征		似层状、层状、透镜状和脉状	似层状、层状、透镜状和脉状
Pb+Zn品位		5.00%~11.00% Zn/Pb=6.00~42.50	2.32%~15.91% Zn/Pb=1.04~4.76
矿石矿物		闪锌矿(深棕色)、方铅矿、斑铜矿、 黄铁矿、黄铜矿	闪锌矿(深棕色)、方铅矿、黄铁矿、 黄铜矿、磁铁矿
脉石矿物		方解石、石英等,并含较多矽卡岩矿物,如石榴石、 透辉石、阳起石、绿泥石、透闪石、绿帘石、 黑柱石等	方解石、石英等,并含较多矽卡岩矿物, 如石榴石、透辉石、阳起石、绿泥石、绿帘石、 透闪石等
围岩蚀变 成矿温度/℃		矽卡岩化、硅化、黄铁矿化及大理岩化 130~320 ^①	矽卡岩化、硅化、黄铁矿化及大理岩化 150~421 ^②
$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	黄铜矿	4.70~5.60(5.25, $n=4$) ^①	未测
	方铅矿	2.90~5.60(3.88, $n=10$) ^①	9.23~9.89(9.56, $n=2$) ^②
	黄铁矿	3.81~5.20(4.63, $n=4$) ^①	未测
	闪锌矿	4.70~7.20(5.82, $n=18$) ^①	9.37~10.17(9.77, $n=2$) ^②

资料来源:① 本研究,由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安宁分析;② 据夏庆霖等(2005)。

核桃坪组,为一套灰白色中厚层大理岩化灰岩和泥质岩,局部夹厚层状鲕粒灰岩、纹层状泥灰岩(厚753.97 m),规模最大的矿体为V号矿体,呈似层状、层状、透镜状产于白冲河背斜东翼F₁断层破碎带中,断层的周期性错移使该矿床呈雁列式展布,矿体与地层产状一致,沿走向和倾向均有膨大收缩、尖灭再现的现象,与围岩的界线大多清晰,呈突变接触,据工程揭露显示,矿体地表长590 m,厚30 m左右,最大斜深大于150 m(朱余银等,2006;薛传东等,2008)。芦子园赋矿围岩为上寒武统沙河厂组,为灰色大理岩与灰绿色绿泥石石英片岩、板岩的互层,矿区分为I、II和III 3个矿带,其中II矿带规模最大(包括II-V1~5矿体),呈似层状、脉状产于镇康复背斜核部层间破碎带中,并呈带状分布,矿体与片理产状一致,而与围岩界线较为明显,II矿带总长约2300 m,平均厚6.55 m左右,最大斜深为370 m(夏庆霖等,2005;董文伟等,2007)。此外,铅锌矿石Pb+Zn品位分别为5%~11%(核桃坪)和2.32%~15.91%(芦子园),其中Zn的含量普遍高于Pb,即Zn/Pb比值大于1,保山核桃坪铅锌矿床Zn/Pb比值在6~42.5之间,而芦子园铅锌矿床Zn/Pb比值在1.04~4.76之间(云南省地质矿产局第四地质大队,1993^①;夏庆霖等,2005)。

对比研究发现,两个矿床矿石矿物均以闪锌矿(深棕色)、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿(芦子

园)斑铜矿(核桃坪)为主,脉石矿物包括方解石、石英等,并含较多矽卡岩矿物,如石榴石、透辉石、阳起石、绿泥石、透闪石、绿帘石、黑柱石(核桃坪)等,矿床金属硫化物多与矽卡岩矿物和石英脉共生。矿石具粒状结构、交代结构和残余结构,且具稀疏-稠密浸染状、致密块状、条带状构造和脉状构造。

矿床围岩蚀变复杂、强度大、范围广,与铅锌成矿有关的蚀变主要为矽卡岩化、硅化、黄铁矿化及大理岩化。其中矽卡岩化是区内最普遍的蚀变类型,从矿体到近围岩再到边缘几乎都有矽卡岩化现象,尤其在碳酸盐岩地方矽卡岩化尤为强烈,形成以阳起石为主的矽卡岩(芦子园)和透辉石-石榴石、角闪石-阳起石-透闪石、阳起石-绿帘石-绿泥石及绿帘石-绿泥石矽卡岩矿物组合(核桃坪);硅化在铅锌矿体或围岩中广泛分布,常见闪锌矿、黄铜矿和方铅矿与石英共生,且铅锌硫化物大小往往与石英结晶大小呈正相关关系,黄铁矿化较普遍,主要见于矿体和矿体周边的围岩中,核桃坪矿区存在两期黄铁矿,早期与铅锌硫化物共生,晚期呈网脉状穿插于铅锌矿体中;大理岩化在核桃坪与芦子园矿区均有分布,其中芦子园矿区大理岩化更强,几乎所有灰岩都发生了大理岩化,在铅锌矿体中常出现大理岩化“包裹体”。总之,本区围岩蚀变类型并非单一类型,往往在构造破碎带中矿化与蚀变最强,远离构造破碎带其强度逐渐减弱,不仅影响铅锌成矿,而且影响铅锌

① 云南省地质矿产局第四地质大队,1993.云南省保山市瓦窑乡核桃坪铅锌矿区普查地质报告。

矿石的品位,如芦子园矿床 II 号矿体矿化强于 I、III 号矿体矿化,离开背斜轴部矿化减弱,而核桃坪矿靠近 F1 断裂矿化明显增强(朱余银等,2006;董文伟等,2007)。

3 矿床地球化学特征对比

3.1 成矿温度

通过对主成矿阶段石英原生包裹体测温($n = 77$,尚未发表)发现核桃坪矿床中石英包裹体的均一温度变化范围大($130 \sim 320^\circ\text{C}$),主要集中在 $198 \sim 315^\circ\text{C}$ 和 $150 \sim 190^\circ\text{C}$ 两个区间,而方解石包裹体的均一温度多低于 150°C ,反映成矿流体经历了高温和中温两个阶段。芦子园矿床石英包裹体的均一温度为 $150 \sim 421^\circ\text{C}$,方解石包裹体均一温度为 $150 \sim 240^\circ\text{C}$,数据集中分布在 $280 \sim 420^\circ\text{C}$ 和 $160 \sim 280^\circ\text{C}$ 温度范围内(夏庆霖等,2005),同样反映成矿流体经历了高温和中温两个阶段,但其成矿温度略高于核桃坪,可能暗示其矿体更靠近深部隐伏岩体。此外,两个矿床成矿流体温度与缅甸金厂热液型铅锌矿床中石英和闪锌矿原生包裹体均一温度(数据集中分布在 $215 \sim 290^\circ\text{C}$ 和 $140 \sim 215^\circ\text{C}$ 两个温度区间)特征(陈永清等,2009)较相似,表明其形成与深部岩浆热液有关。

3.2 微量元素组成

核桃坪与芦子园铅锌矿床中闪锌矿多为深棕色,通过 LA-ICPMS 分析发现该类型矿床闪锌矿以富 Co、Mn 贫 In 为特征,其 Fe 含量较高,但多低于铁闪锌矿(10%,质量分数),表明该矿床与岩浆热液型矿床类似,明显与块状硫化物型铅锌矿床不同,更有别于 MVT 型铅锌矿床,而方铅矿(Sb、Bi 等)及黄铁矿(Co、Ni 等)中的微量元素成因分析也反映了类似的结果(程增涛,2009;Ye *et al.*,2011)。

3.3 同位素地球化学特征

核桃坪与芦子园两个铅锌矿床矿石中硫化物(闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和黄铁矿)的硫同位素以较低正值和呈塔式分布(图 3 和表 1)为特征,其中,核桃坪矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $+2.90\text{‰} \sim +7.20\text{‰}$,平均值为 $+5.08\text{‰}$,而芦子园矿床具有相对较高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,其变化范围较窄($9.23\text{‰} \sim 10.17\text{‰}$),平均值为 9.67‰ (图 3 和表 1)。总体上,两个矿区硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 均约高于与深部岩浆作用有关硫化物的硫同位素组成($\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 3\text{‰}$),但明显低于围岩地层

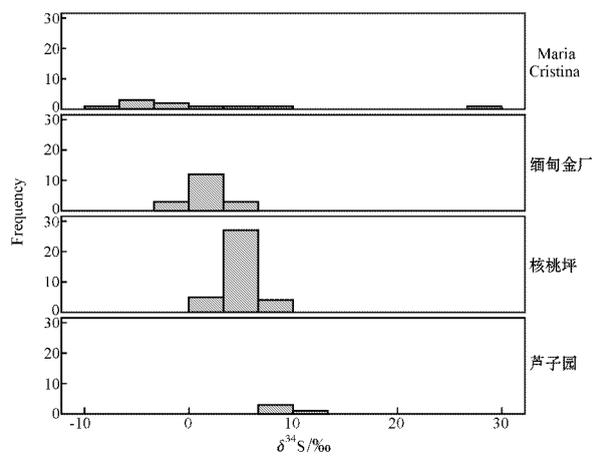


图 3 保山地块铅锌矿床与国外 Maria Cristina 和缅甸金厂矿床硫同位素频率分布直方图

Fig. 3 Histogram showing sulfur isotopic compositions of Pb-Zn deposits in the Baoshan terrane and the Maria Cristina and Jinchang Pb-Zn deposits in Myanmar

数据来源:图中核桃坪矿床硫同位素数据来自本研究;芦子园矿床的硫同位素数据引自夏庆霖等(2005);Maria Cristina 和缅甸金厂的硫同位素数据分别引自 Francois Lieben *et al.* (2000) 和陈永清等(2009)

sources for data: Hetaoping—this study; Luziyuan—Xia Qinglin *et al.* (2005); Maria Cristina—Francois Lieben *et al.* (2000); Jinchang in Myanmar—Chen Yongqing *et al.* (2009)

同期海水 $\delta^{34}\text{S}$ 值(寒武纪海水下限值为 15‰)。与国外两个铅锌矿床硫同位素对比,本区两矿床主体硫同位素值显示出明显不同。此外,各矿物硫同位素研究结果表明,芦子园矿床硫同位素已达到了同位素分馏平衡 [$\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} (9.77) > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} (9.56)$] 核桃坪矿床也基本如此 [$\delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} (5.82) > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}} (3.88)$]。这可能与岩浆热液缓慢交代大理岩化灰岩有关。

值得注意的是,图 3 显示,由上至下,矿床主体硫同位素值呈现出由接近 -10‰ 至接近 $+10\text{‰}$ 渐进变化趋势,这种变化归因于流体成分、围岩性质及流体改造程度等因素(Seal,2006)。显然,出现极低硫值(最低为 -8.9‰)的 Maria Cristina 矿床是成矿流体受到 Nantoco 组中薄层状富有机质灰岩的还原所致,而缅甸金厂矿床硫值接近陨硫硫的分布,其成矿流体具有中酸性花岗岩浆源特征(陈永清等,2009);然而,本区核桃坪与芦子园矿床的硫值均高于国外两个矿床,更接近缅甸矿床硫值,这可能暗示两个矿床的成矿流体主要来自深部中酸性岩浆热液,并在运移过程中受到地层硫的混入,在芦子园矿区这种

表 2 保山地块铅锌多金属矿床与国外铅锌矿床铅同位素组成对比表

Table 2 Comparison of Lead isotopic compositions between Pb-Zn polymetallic deposits in the Baoshan terrane and Pb-Zn deposits in Maria Cristina and Jinchang in Myanmar

矿床	矿物/岩石	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ 范围和均值
		范围和均值	范围和均值	范围和均值	
Maria Cristina	Gn	18.406~18.450	15.560~15.620	38.158~38.337	9.39~9.49
		18.427(4)	15.588(4)	38.246(4)	9.44(4)
缅甸金厂	Gn	18.744~18.803	15.700~15.720	39.019~39.098	9.63~9.66
		18.768(6)	15.712(6)	39.058(6)	9.65(6)
核桃坪	Sp, Gn, Py	18.210~18.460	15.596~15.960	37.812~41.656	9.46~10.18
		18.321(27)	15.756(27)	38.847(27)	9.79(27)
芦子园	Sp, Gn	18.224~18.338	15.697~15.849	38.381~38.874	9.68~9.97
		18.270(4)	15.744(4)	38.546(4)	9.77(4)
保山地区寒武系	大理岩及大理岩化	18.280~19.180	15.740~15.880	38.460~40.650	9.69~9.94
地层 ^⑤	灰岩	18.774(5)	15.792(5)	39.576(5)	9.81(5)

注:核桃坪数据来自本研究,由国土资源部中南矿产资源监督检测中心(宜昌)测试分析,宝山地区寒武系地层数据来自高伟等(2011),其他数据来源同图3;括号内为样品数。

地层硫的混入比例更大些。

通过对比可以看出核桃坪矿床与芦子园矿床均含较高放射性成因铅,以高 μ 值为特征(表2)其中,芦子园矿床 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化范围分别为18.224~18.338、15.697~15.849、38.381~38.874,而核桃坪矿床 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 具有相对较大变化范围和较高比值,变化范围分别为18.210~18.460、15.596~15.960、37.812~41.656。而区域寒武系核桃坪组(大理岩、泥质板岩和大理岩化板岩)的铅同位素组成比较分散,其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的分布区间分别在18.280~19.180(均值18.774, $n=5$)、15.740~15.880(均值15.792, $n=5$)和38.460~40.650(均值39.576, $n=5$),其 μ 值在9.69~9.94,平均值为9.81($n=5$)。可见,本区两矿床铅同位素组成略低于区域寒武系核桃坪组地层铅同位素组成,而与花岗或闪长斑岩有关的铅锌矿床(如缅甸金厂和Maria Cristina)较为相似,表明该矿床具有与中酸性岩浆活动有关的铅锌矿床特征。一般而言, μ 值为7.86~7.94代表地幔铅或下地壳铅(Chase, 1981),而 μ 值为9.81代表上地壳铅(Stacey and Kramers, 1975)核桃坪(μ 值=9.79)和芦子园(μ 值=9.77)均介于两者之间,显示出地幔铅或下地壳铅与上地壳铅混合特征,从Maria Cristina→缅甸金厂→核桃坪和芦子园,矿床 μ 值呈现出逐渐增大的趋势,这可能反映了受到上地壳物质不同程度混染,暗示与核桃坪和芦子园矿床有关的中

酸性岩浆热液可能受到地壳物质混染程度相对较大。此外,在Zartman和Do(1981)铅构造环境模式演化增长曲线图中(图4a),核桃坪矿床数据点跨度极大,位于造山带与上地壳演化曲线之间,而芦子园矿床投在上地壳演化线附近;在图4b中,核桃坪矿床数据点位于下地壳与上地壳演化线之间,而芦子园矿床则靠近造山带演化线附近。这也暗示来源于深源低 μ 值铅的中酸性岩浆热液经历了浅源高 μ 值铅的混染过程,两矿床特征较Maria Cristina矿床更类似于缅甸金厂铅锌矿床混染特征。

4 矿床成因初探

4.1 成矿物质来源

如前所述,本区两个铅锌矿床矿石铅的铅同位素特征显示其铅源为深源铅,并受到壳源铅的混染。在 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 构造环境图解(图5)中,核桃坪与芦子园铅锌矿床投影样品点多集中分布在上地壳与岩浆铅之间,具有岩浆源铅与壳源铅相混合的造山带铅特征,上述特征与区域壳源花岗岩有关的W、Sn、Cu、Pb矿床(如腾冲铜厂山砂卡岩型铅锌矿床,陈吉琛, 1991;吴绍军, 2003)、缅甸金厂热液型铅锌矿床和Maria Cristina砂卡岩型铅锌矿床的铅同位素特征较为相似,表明其成矿作用应与壳幔相互作用引起地壳熔融产生中酸性岩浆活动有关。在硫源成因图上(图6)核桃坪矿床与芦子园矿床硫同位素均介于深部与岩浆有关的硫和海水蒸发硫酸盐之间,这反映

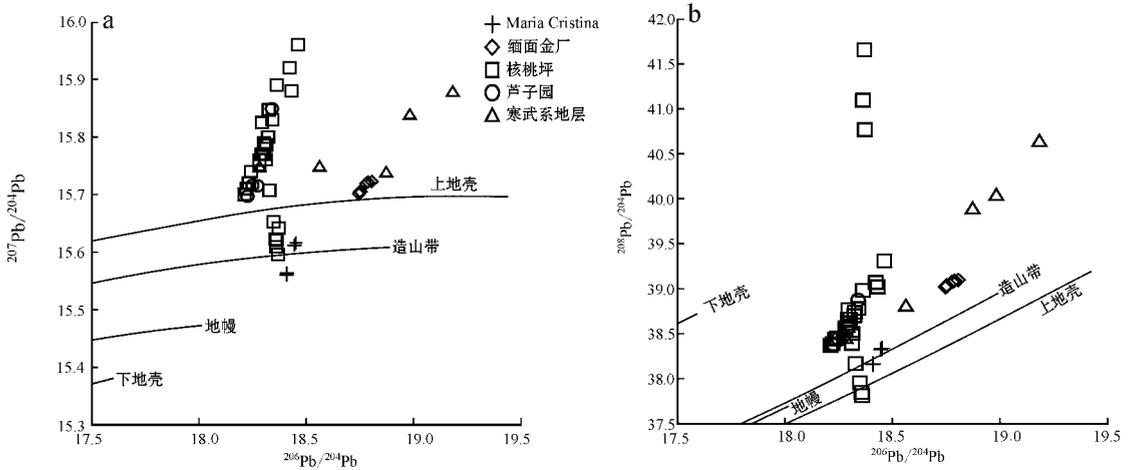


图 4 保山地块铅锌矿床与国外 Maria Cristina 和缅甸金厂铅锌矿床铅同位素组成 Zartman-Doe 图解 (底图据 Zartman and Doe, 1981; Mirnejad et al., 2011, 数据来源同图 3)

Fig. 4 Zartman-Doe diagram of lead isotopic composition of the Baoshan terrane Pb-Zn deposits and Maria Cristina and Jinchang Pb-Zn deposits in Myanmar (after Zartman and Doe, 1981; Mirnejad et al., 2011; sources for data as for Fig. 3)

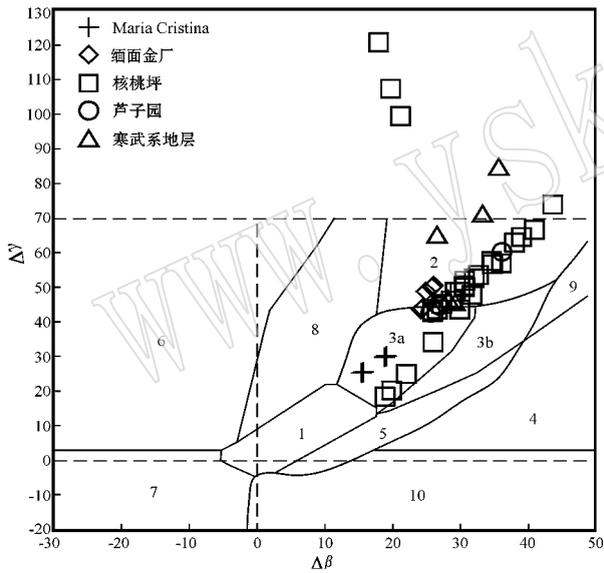


图 5 保山地块矽卡岩型铅锌矿床与国外 Maria Cristina 和缅甸金厂铅锌矿床铅同位素 $\Delta\gamma - \Delta\beta$ 图解 (底图据朱炳泉, 1998, 数据来源同图 3)

Fig. 5 $\Delta\gamma$ versus $\Delta\beta$ genetic classification diagram showing lead isotopic distribution of the Baoshan terrane Pb-Zn deposits and Maria Cristina and Jinchang Pb-Zn deposits in Myanmar (after Zhu Bingquan, 1998; sources for data as for Fig. 3) 1—mantle lead; 2—upper crust lead; 3—subduction belt lead composed of mixture of lead from the upper crust and the mantle (3a magmatism; 3b sedimentation); 4—chemical sedimentary lead; 5—sea floor hydrothermal lead; 6—medium and further metamorphic lead; 7—further metamorphic lead in the lower crust; 8—orogene lead; 9—paleoshale lead in the upper crust; 10—retrograde metamorphic lead

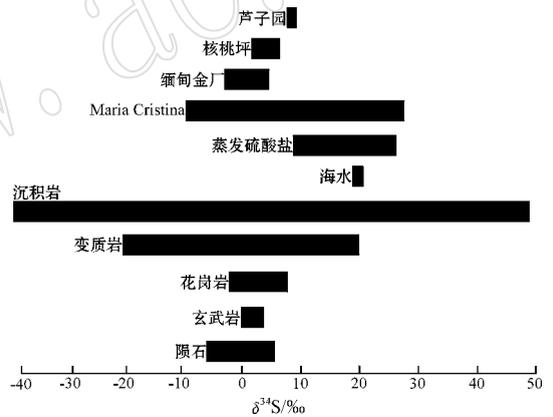


图 6 保山地块铅锌矿床与国外 Maria Cristina 和缅甸金厂铅锌矿床硫同位素成因图解 (底图据 Hoefs, 1980, 数据来源同图 3)

Fig. 6 Sulfur isotope genetic classification diagram showing total range of $\delta^{34}\text{S}$ values from Baoshan terrane Pb-Zn deposits in comparison with values from Maria Cristina and Jinchang Pb-Zn deposits in Myanmar (after Hoefs, 1980; sources for data as for Fig. 3)

了岩浆硫与地层硫的混合,这一结论与铅同位素的研究结果一致。与国外 Maria Cristina 和缅甸金厂相比,本区两个矿床均未出现负值,表明其成矿过程中没有生物硫酸盐热化学还原作用的参与 (Seal, 2006)。

4.2 成矿流体来源

关于核桃坪铅锌矿成矿流体的来源,前人根据与矿化有关的蚀变矿物(石英、方解石、绿帘石等)和矿区辉绿岩的 C、O、H、Si 等同位素特征提出以下 3 种认识:①主要来自于岩浆热液并有地层建造水或

大气降水的加入(薛传东等,2008);②岩浆热液(董文伟等,2007);③地下水热液(邓必方,1995)。本文对与硫化物共生的石英中氢、氧同位素的研究表明,核桃坪矿床石英 δD_{H_2O} ($-109\text{‰} \sim -91\text{‰}$) 和 $\delta^{18}O_{H_2O}$ ($-4.3\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$) 介于岩浆水与地层建造水或大气降水之间,可见,该矿床成矿流体属混合型。而芦子园矿床成矿流体研究相对薄弱,目前缺少有关成矿流体来源方面的资料。从区域演化历史上看,本区位于印度板块与欧亚板块缝合带内,经历了加里东期→华力西期→印支期→燕山期→喜山期等五个大的构造事件,受古特提斯洋的打开→俯冲→碰撞控制(云南省地质矿产局,1990;李文昌等,2001;Hou *et al.*,2007;朱华平等,2008;邓军等,2010;);经 Rb-Sr 定年证实(陶琰等,2010;朱飞霖等,2011)本区核桃坪矿床和芦子园矿床的成矿流体均与保山地块内燕山期花岗岩浆活动有关。

4.3 铅锌矿床与岩浆岩的关系

本区处于怒江、澜沧江及南汀河断裂夹持的区域,其周边岩体广布,如怒江断裂旁侧(腾冲一带)分布有复式花岗岩体,澜沧江断裂西侧分布有临沧花岗岩和张性超壳断裂花岗岩,南汀河断裂旁侧分布有断裂重熔花岗岩(陈吉琛,1989),与这些岩体有关的矿床有贡山培里和小龙河锡矿、老厂铅锌矿等。但保山地块内部很少有花岗岩体的分布,仅在保山市有卧牛寺玄武岩和纸厂岩体出露(张旗等,1996),周围并无任何铅锌矿床(点)分布。目前,核桃坪与芦子园矿区尚未发现有岩体出露,仅有零星基性辉绿岩脉分布,尽管其 Pb、Zn 含量相对较高,但与铅锌成矿作用无明显成因联系,仅在矿体与这些岩脉接触部位出现矿体增大富集现象(朱余银等,2006;董文伟等,2007),且在芦子园外围有木厂花岗岩体出露,其形成时代约为 266 Ma(中二叠世),属海西期,该岩体可能与芦子园铅锌成矿作用无明显关系(Ye *et al.*,2010)。然而根据区域重力异常及航磁异常特征推断核桃坪和芦子园矿区均有隐伏中酸性岩体的存在(李文昌等,2001;董文伟,2007),笔者认为这些隐伏岩体可能为燕山期岩浆活动的产物,并对本区两个铅锌矿床的形成至关重要。

4.4 矿床成因类型

本区铅锌矿床地质地球化学研究薄弱,关于芦子园矿床的成因目前尚无定论,而核桃坪矿床成因认识分歧较大:①沉积-热液改造型矿床(邓必方,

1995;董文伟,2007;饶天龙,2008);②与花岗岩有关的矽卡岩型矿床(夏庆霖等,2005;朱余银等,2006;薛传东等,2008);③与火山-喷流活动有关的 VMS 或 Sedex 型块状硫化物矿床(李志国等,2006)。一般而言,无论何种矿种的矽卡岩型矿床,均产于中酸性侵入岩体与碳酸盐岩的接触带附近,或远离岩体分布(外接触带),或靠近岩体分布(内接触带),如罗马尼亚 Oana de Fier-Dognecea Fe-Cu-(Zn-Pb)矽卡岩矿田(Ciobanu and Cook,2004)、智利北部 Maria Cristina 矽卡岩型铅锌矿床(Francois Lieben *et al.*,2000)、加利福尼亚 Darwin 矽卡岩型铅锌矿床(Rainer *et al.*,1991)、日本中部 Nakatatsu Mine 矽卡岩型铅锌矿床(Shimizu and Iiyama,1982)和缅甸金厂铅锌矿床(李家盛,1999)等。与国外典型矽卡岩型铅锌矿床相比,核桃坪与芦子园矿区目前尚未发现中酸性侵入岩体出露,但矿体附近矽卡岩化均较强烈,地球物理资料均显示其深部存在隐伏中酸性岩体,如前所示,本矿床成矿物质及成矿流体均与深部隐伏岩体有关,因此,笔者认为该类型矿床应属于与深部隐伏岩体有关的中(高)温矽卡岩型铅锌矿床。

尽管前人对保山镇康地区铅锌矿床做了一定地质研究,但多集中于矿床地质特征方面(邓必方,1995;李志国等,2006;朱余银等,2006;董文伟等,2007),仅积累了少量地球化学资料(夏庆霖等,2005;薛传东等,2008),目前,该区矽卡岩型铅锌矿床研究存在以下薄弱环节:①矿化蚀变分带不清,特别是矽卡岩矿物的分带未做详细的分析与研究,如主成矿元素(Fe、Cu、Pb、Zn)的垂直和水平分带、蚀变矿物(石榴石、辉石)成分和结构的分带;②成矿流体系统研究薄弱(如温度、压力、pH、硫逸度、氧逸度等参数),本区核桃坪与芦子园矿床流体包裹体测试数据不多,仅夏庆霖等(2005)、薛传东等(2008)和程增涛(2009)曾对芦子园和核桃坪矿床做过初步测试,这些数据代表性差,且不系统,对于认识矿床成矿流体来源、演化和成矿物理化学条件是远远不够的;③同位素成矿年代资料匮乏,仅陶琰等(2010)和朱飞霖等(2011)对核桃坪与芦子园矿床做过 Rb-Sr、Pb 同位素测试,还须进一步约束区域地质构造演化史。

可见,应增强本区矽卡岩型铅锌成矿地质地球化学研究,以更好地甄别已有成因观点,并建立合理的成矿模式,为矿区及外围进一步勘探找矿提供理

论指导。

5 认识与结论

(1) 位于西南“三江”成矿带南段保山地块内的核桃坪铅锌矿床和芦子园铅锌矿床具有相似的地质产出特征,矿体均以层状、似层状、透镜状和脉状产于上寒武统大理岩或大理岩化灰岩中,受背斜轴部和 NE 向断裂的控制,围岩矽卡岩化强烈。

(2) 矿床地质地球化学特征对比研究结果表明,核桃坪矿床和芦子园铅锌矿床硫同位素组成以较低正值特征,其铅同位素组成以壳源铅为主,属于高 μ 值放射性成因铅;闪锌矿微量元素组成以富集 Co、Mn 贫 In 为特征,不同于 VMS 型或 MVT 型铅锌矿床。两个矿床成矿物质及成矿流体均与深部隐伏中酸性岩体有关,其成矿作用均经历了中温和高温两个矿化阶段。

(3) 核桃坪与芦子园铅锌矿床属于与深源隐伏岩体有关的中-高温矽卡岩型矿床。保山地块区内背斜轴部与 NE 向断裂的交汇处是很好的赋矿空间,SN 向和 NW 向断裂为成矿物质运移提供了通道,由于燕山期深部隐伏中酸性岩体的侵入产生富 Pb、Zn 的岩浆热液,与围岩反应,并与后期地层水或大气降水混合形成了核桃坪和芦子园铅锌矿床。

References

- Chase C G. 1981. Ocean island Pb two-stages histories and mantle evolution[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 52: 277~284.
- Chen Jichen. 1989. Tectonic surroundings forming west Yunnan granitoids and their rock character[J]. *Yunnan Geology*, 8(3, 4): 205~212 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jichen. 1991. Characteristics of Pb, Sr isotopic compositions in West Yunnan granites discussion on the age and nature of the basement in West Yunnan[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2: 175~183 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yongqing, Huang Jingning, Lu Yingxiang, *et al.* 2009. Geochemistry of elements, sulfur-lead isotope and fluid inclusions from Jinla Pb-Zn-Ag polymetallic ore field at the joint area across China and Myanmar Border[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(4): 586~594 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yongqing, Lu Yingxiang, Xia Qinglin, *et al.* 2005. Geochemical characteristics of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Baoshan, Yunnan, and its genetic model and ore prospecting model pattern[J]. *Chinese Geology*, 32(1): 90~99 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Zengtao. 2009. Studying on geochemical character of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Yunnan province[D]. Chinese Academy of Sciences, 1~86 (in Chinese with English abstract).
- Ciobanu C L and Cook N J. 2004. Skarn textures: a case study of the Ocna de Fier-Dognecea ore field, Banat, Romania[J]. *Ore Geol. Rev.*, 24: 315~370.
- Dai Zixi. 2008. Focusing on the large type metallic deposits in and out of China territory[J]. *China Metal Bulletin*, 17: 32~34 (in Chinese with English abstract).
- Deng Bifang. 1995. Genetic model for Mercury and Pb-Zn deposits in Baoshan-Zhenkang terrane[J]. *Yunnan Geology*, 14(4): 355~364 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jun, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, *et al.* 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis in sanjiang Tethys[J]. *Mineral Deposits*, 29(1): 38~42 (in Chinese with English abstract).
- Dong Wenwei. 2007. The metallogenetic conditions and typical model in Baoshan-Zhenkang massif[J]. *Yunnan Geology*, 26(1): 56~61 (in Chinese with English abstract).
- Dong Wenwei and Chen Shaoling. 2007. The characteristics and genesis of Luziyuan Pb-Zn deposit, Zhenkang[J]. *Yunnan Geology*, 26(4): 404~410 (in Chinese with English abstract).
- Francois Lieben, Robert Moritz, Lluís Fontbote, *et al.* 2000. Mineralogy, Geochemistry, and Age Constraints on the Zn-Pb Skarn Deposit of Maria Cristina, Quebrada Galena, Northern Chile[J]. *Economic Geology*, 95: 1185~1196.
- Fu Degui, Cui Ziliang, Guan Deren, *et al.* 2004. Comprehensive ore-prospecting of Jinchanghe bind Cu polymetallic deposit, Baoshan[J]. *Yunnan Geology*, 23(2): 188~198 (in Chinese with English abstract).
- Gao Wei, Ye Lin, Cheng Zengtao, *et al.* 2011. Isotope geochemical character of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Baoshan, Yunnan province[J]. *Acta Mineralogy Sinica*, 31(3): 579~586 (in Chinese with English abstract).
- Hoefs J. 1980. Stable Isotope Geochemistry(2nd edition) [M]. Springer Verlag. Berlin, 208.
- Hou Z Q, Zaw K, Pan G T, *et al.* 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S. W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. *Ore Geol. Rev.*, 31: 48~87.
- Hu Bin, Dai Tegen, Xie Lihua, *et al.* 1999. Polymetal metallogenetic features copper (gold) at the middle northern part of Lancang river in western Yunnan[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 14(3): 78~82 (in Chinese with English abstract).
- Li Jiasheng. 1999. Geological character, potentiality and method of ore-prospecting in the Jinchang Pb-Zn deposit, Nandeng area, Burma[J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 8(6): 664~665 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang and Mo Xunxue. 2001. The Cenozoic tectonics and metallogenesis in the three-river area of southwest China[J]. *Yunnan Geology*, 4: 333~346 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenhua, Li Lei, Zhao Rongkuan, *et al.* 1985. On the sedimentary

- ore-forming factors of the Pb-Zn deposit at Mengxing, Longling county [J]. *Yunnan Geology*, 4(3): 235~244 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhiguo, Zeng Pusheng, Fu Degui, *et al.* 2006. Geological characteristics and primary research on the genesis of the deposits in Hetaoping mineralization-concentrated region [J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 29(3): 211~215 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yingxiang, Liu Hongguang, Huang Jingning, *et al.* 2009. Preliminary division of the metallogenetic belts in the Central South Peninsula of Southeast Asia and their regional ore-forming characteristics [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(2~3): 315~325 (in Chinese with English abstract).
- Mirnejad H, Simonetti A, Molasalehi F, *et al.* 2011. Pb isotopic compositions of some Zn-Pb deposits and occurrences from Urumieh-Dokhtar and Sanandaj-Sirjan zones in Iran [J]. *Ore Geol. Rev.*, 39: 181~187.
- Rainer J N, Einaudi M T, Harvey S, *et al.* 1991. Eastman. Zoning and Genesis of the Darwin Pb-Zn-Ag Skarn Deposit, California: A Reinterpretation Based on New Data [J]. *Economic Geology*, 86: 960~982.
- Rao Tianlong. 2008. Basic characteristics of Lead-Zinc mineral resources and the vista on geological prospecting of large scale Pb-Zn deposits in Yunnan [J]. *China Mining Magazine*, 17(3): 108~110 (in Chinese with English abstract).
- Seal R R II. 2006. Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals [J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 61(1): 633~677.
- Shimizu M and Iiyama J T. 1982. Zinc-Lead Skarn Deposit of the Nakatatsu Mine, Central Japan [J]. *Economic Geology*, 77: 1000~1012.
- Stacey J S and Kramers J D. 1975. Approximation terrestrial lead evolution by a two stage mode [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26: 207~221.
- Tao Yan, Hu Ruizhong, Zhu Feilin, *et al.* 2010. Ore-forming age and geodynamic background of the Hetaoping Pb-Zn deposit in Baoshan, Yunnan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6): 1760~1762 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shaojun. 2003. Tong Changshan skarn Pb-Zn deposit, Tenchong [J]. *Yunnan Geology*, (2): 170~175 (in Chinese with English abstract).
- Xia Qinglin, Chen Yongqing, Lu Yingxiang, *et al.* 2005. Geochemistry, Fluid Inclusions and Stable Isotope Studies of Luziyuan Pb-Zn deposit, in Yunnan province, southwestern China [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 30(2): 177~186 (in Chinese with English abstract).
- Xue Chuandong, Han Runsheng, Yang Hailin, *et al.* 2008. Isotope geochemical evidence for ore-forming fluid resources in Hetaoping Pb-Zn deposit. Baoshan, northwestern Yunnan [J]. *Mineral Deposits*, 27(2): 243~252 (in Chinese with English abstract).
- Ye Lin, Gao Wei, Cheng Zengtao, *et al.* 2010. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and petrology of the Muchang alkali granite, Zhenkang County, western Yunnan Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 84(6): 1488~1499.
- Ye Lin, Nigel J C, Cristiana L C, *et al.* 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICP-MS study [J]. *Ore Geol. Rev.*, 39: 188~217.
- Yunnan Province Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Regional Geology Record in Yunnan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics-The model [M]. *Tectonophysics*, 75: 135~162.
- Zhang Qi, Zhou Dejin, Zhao Dasheng, *et al.* 1996. Wilson cycle of the Paleo-Tethyan orogenic belt in western yunnan: record of magmatism and discussion on mantle processes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, (1): 18~28 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhifang, Lu Yingxiang, Xie Yunhong, *et al.* 2002. An example study of remote sensing & GIS metallogenetic prognosis in Luziyuan area, Zhenkang [J]. *Yunnan Geology*, 21(3): 300~307 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan. 1998. Theory and Application for Isotope Systematic in Earth Science [M]. Beijing: Science Press, 224~246 (in Chinese).
- Zhu Feilin, Tao Yan, Hu Ruizhong, *et al.* 2011. Forming age of the Luziyuan Pb-Zn deposit in Zhenkang, Yunnan [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 30(1): 73~79 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Huaping, Fan Wenyu, Gao Dafa, *et al.* 2008. Metallogenetic series of lead-zinc deposits in the central and southern parts of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang metallogenetic belt in southwestern China [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 28(4): 63~68 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yuyin, Han Runsheng, Xue Chuandong, *et al.* 2006. Geological character of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Baoshan, Yunnan province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 20(1): 32~35 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈吉琛. 1989. 滇西花岗岩类形成的构造环境及岩石特征 [J]. *云南地质*, 8(34): 205~212.
- 陈吉琛. 1991. 滇西花岗岩类 Pb、Sr 同位素组成特征及其基底时代和性质 [J]. *地质科学*, 2: 175~183.
- 陈永清, 黄静宁, 卢映祥, 等. 2009. 中缅毗邻区金腊 Pb-Zn-Ag 多金属矿田元素、稳定同位素和流体包裹体地球化学 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 34(4): 586~594.
- 陈永清, 卢映祥, 夏庆霖, 等. 2005. 云南保山核桃坪铅锌矿床地球化学特征及其成矿模式与找矿模型 [J]. *中国地质*, 32(1): 90~99.
- 程增涛. 2009. 云南核桃坪铅锌矿床地球化学特征研究 [D]. 中国科学院地球化学研究所, 1~86.
- 戴自希. 2008. 聚焦我国国境线附近(境外)的大型金属矿床 [J]. *中国金属通报*, 17: 32~34.
- 邓必方. 1995. 保山-镇康地区汞、铅锌矿床的成矿模式 [J]. *云南地*

- 质, 14(4): 355~364.
- 邓军, 侯增谦, 莫宣学, 等. 2010. 三江特提斯复合造山与成矿作用[J]. 矿床地质, 29(1): 38~42.
- 董文伟. 2007. 保山镇康地块成矿条件及典型矿床成矿模式[J]. 云南地质, 26(1): 56~61.
- 董文伟, 陈少玲. 2007. 镇康芦子园铅锌矿床特征及成因[J]. 云南地质, 26(4): 404~410.
- 符德贵, 崔子良, 官德任. 2004. 保山金厂河铜多金属隐伏矿综合找矿[J]. 云南地质, 23(2): 188~198.
- 高伟, 叶霖, 程增涛, 等. 2011. 云南保山核桃坪铅锌矿床同位素地球化学特征[J]. 矿物学报, 31(3): 579~586.
- 胡斌, 戴塔根, 谢力华. 1999. 滇西澜沧江中北段铜(金)多金属成矿特征[J]. 地质找矿论丛, 14(3): 78~82.
- 李家盛. 1999. 缅甸南邓区金厂铅锌矿地质特征、找矿前景及找矿方法[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6): 664~665.
- 李文昌, 莫宣学. 2001. 西南“三江”地区新生代构造及其成矿作用[J]. 云南地质, 4: 333~346.
- 李文桦, 李雷, 赵荣宽, 等. 1985. 龙陵勐兴铅锌矿床的沉积成矿因素[J]. 云南地质, 4(3): 235~244.
- 李志国, 曾普胜, 符得贵, 等. 2006. 云南核桃坪矿集区矿床特征及成因初探[J]. 东华理工学院学报, 29(3): 211~215.
- 卢映祥, 刘洪光, 黄静宁, 等. 2009. 东南亚中南半岛成矿带初步划分与区域成矿特征[J]. 地质通报, 28(2~3): 315~325.
- 饶天龙. 2008. 云南铅锌资源基本特征及超大型铅锌矿床找矿前景[J]. 中国矿业, 17(3): 108~110.
- 陶琰, 胡瑞忠, 朱飞霖, 等. 2010. 云南保山核桃坪铅锌矿成矿年龄及动力学背景分析[J]. 岩石学报, 26(6): 1760~1762.
- 吴绍军. 2003. 腾冲铜长山砂卡岩型铅锌矿床[J]. 云南地质, (2): 170~175.
- 夏庆霖, 陈永清, 卢映祥, 等. 2005. 云南芦子园铅锌矿床地球化学、流体包裹体及稳定同位素特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 30(2): 177~186.
- 薛传东, 韩润生, 杨海林, 等. 2008. 滇西北保山核桃坪铅锌矿床成矿流体来源的同位素地球化学证据[J]. 矿床地质, 27(2): 243~252.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 张旗, 周德进, 赵大升, 等. 1996. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论[J]. 岩石学报, (1): 18~28.
- 赵志芳, 卢映祥, 谢蕴宏, 等. 2002. 镇康芦子园地区遥感和GIS成矿预测示范研究[J]. 云南地质, 21(3): 300~307.
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 224~246.
- 朱飞霖, 陶琰, 胡瑞忠, 等. 2011. 云南镇康芦子园铅-锌矿的成矿年龄[J]. 矿物岩石地球化学通报, 30(1): 73~79.
- 朱华平, 范文玉, 高大发, 等. 2008. 西南三江成矿带中南段铅锌矿床成矿系列[J]. 沉积与特提斯地质, 28(4): 63~68.
- 朱余银, 韩润生, 薛传东, 等. 2006. 云南保山核桃坪铅-锌矿床地质特征[J]. 矿产与地质, 20(1): 32~35.