| 第42卷第1期    | 沉和上柱相斯地氏 | Sedimentary Coolem, and Tethyan Coolem  | Vol. 42 No. 1 |
|------------|----------|---|---------------|
| 2022 年 3 月 | 仉帜与苻旋别地顶 | Sedimentary Geology and Tethyan Geology | Mar. 2022     |

#### DOI:10. 19826/j. cnki. 1009-3850. 2022. 01018

刘学龙,李文昌,周云满,赵成峰,王基元,李庆锐,李守奎,王海,陆波德,周杰虎,李方兰,刘雪,2022. 滇西保山地块金厂河矿集区铁铜金铅锌 多金属矿床成矿系统. 沉积与特提斯地质,42(1):133-150.

Liu X L, Li W C, Zhou Y M, Zhao C F, Wang J Y, Li Q R, Li S K, Wang H, Lu B D, Zhou J H, Li F L, Liu X, 2022. Metallogenic system of polymetallic Fe-Cu -Au-Pb-Zn deposits in Jinchanghe ore concentration district, Baoshan block, Southwest China. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(1):133 – 150.

# 滇西保山地块金厂河矿集区铁铜金铅锌 多金属矿床成矿系统

刘学龙<sup>1</sup>,李文昌<sup>1,2</sup>,周云满<sup>3</sup>,赵成峰<sup>3</sup>,王基元<sup>3</sup>,李庆锐<sup>3</sup>, 李守奎<sup>1</sup>,王 海<sup>3</sup>,陆波德<sup>1</sup>,周杰虎<sup>1</sup>,李方兰<sup>1</sup>,刘 雪<sup>1</sup>

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院,云南 昆明 650093;2. 中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081;3. 云南黄金矿业集团股份有限公司,云南 昆明 650224)

摘要:滇西保山地块是西南"三江"特提斯构造带的重要组成部分,其大地构造位置处于藏 – 滇 – 泰 – 马中间板块中段,是近 年来科学研究和地质找矿的热点地区之一。受区域构造演化的影响,保山地块先后历经原、古、中、新特提斯演化,并发生了 多期成岩成矿事件,在北部形成了以金厂河铁铜铅锌矿、核桃坪铅锌矿、陡崖铁铜多金属矿、黑牛凹金矿、黄家地金矿等为代 表的金厂河铁铜金铅锌多金属矿集区。区内矿床在成矿空间上具有明显的分带性,单个矿床在垂向上、平面上均呈有规律地 分布,其分带标志除了矿床类型外,还表现在有用矿物组合及元素分带。由下往上、由内向外均有 Fe→Cu-Fe→Cu-Pb-Zn→Au 矿种分带及"砂卡岩型→构造蚀变岩型→石英脉型"的矿床类型分带,成矿元素均从高温到中低温变化。成矿系统的分析表 明,区内各代表性矿床中矿石的硫、铅同位素组成和变化范围较为一致性,矿床的形成具有相似的成矿流体,表明不同类型的 矿化可能形成于早白垩世中特提斯洋的闭合过程。本文综合区内构造演化、典型矿床地质特征、各地质事件发生的先后关 系,建立了金厂河矿集区铁铜金铅锌多金属矿床成矿模式,以期为该区深边部地质找矿提供科学依据。

关 键 词:铅锌多金属矿床;成矿地质特征;成矿系统;金厂河矿集区;保山地块 中图分类号:P612 文献标识码:A

# Metallogenic system of polymetallic Fe-Cu-Au-Pb-Zn deposits in Jinchanghe ore concentration district, Baoshan block, Southwest China

LIU Xuelong<sup>1</sup>, LI Wenchang<sup>1,2</sup>, ZHOU Yunman<sup>3</sup>, ZHAO Chengfeng<sup>3</sup>, WANG Jiyuan<sup>3</sup>, LI Qingrui<sup>3</sup>, LI Shoukui<sup>1</sup>, WANG Hai<sup>3</sup>, LU Bode<sup>1</sup>, ZHOU Jiehu<sup>1</sup>, LI Fanglan<sup>1</sup>, LIU Xue<sup>1</sup> (1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093, China; 2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, 610051, China; 3. Yunnan Gold & Mining Industry Group Co. Ltd., Kunming

Abstract: The Baoshan block in western Yunnan is an important part of the Sanjiang Tethys tectonic belt in

650299, *China*)

收稿日期: 2021-10-08; 改回日期: 2021-12-31

作者简介:刘学龙(1983一),博士后,教授,矿床学专业,主要从事云南三江地区的地质矿产研究及矿床学教学工作。Email;xuelongliu@foxmail.com

资助项目:国家自然科学基金重点基金项目(92055314)、云南黄金集团校企合作项目(KKF0202121297)、国家自然科学基金项目(41862009)、云南省基础研究计划项目(2019FB062、2019FA018)、云南省万人计划"青年拔尖人才" 专项(20190028)联合资助

southwest China. Its tectonic position is located at the middle section of the Sibumasu plate, which has been one of the hotspots in geoscientific research and has been a geological prospecting target in recent years. Controlled by the regional tectonic evolution, the Baoshan block has experienced the evolution processes of the Proto-, Paleo-, Mesoand Neo-Tethys, and the multi-stages of diagenetic and metallogenic events have occurred. The Jinchanghe polymetallic iron-copper-gold-lead-zinc ore concentration district includes Jinchanghe iron-copper-lead-zinc deposit, Hetaoping lead-zinc deposit, Douya polymetallic iron-Copper deposit, Heiniuao gold deposit, and Huangjiadi gold deposit. The deposits in the region have obvious metallogenetic zonings in space, and even ore bodies of a single deposit are also regularly distributed in zonings in the vertical and horizontal directions. In addition to deposit types, the useful mineral assemblages and element associations appear in zones in space, and the metallogenic elements change from high temperature to low temperature. Usually, it is showed that the pattern of  $Fe \rightarrow Cu-Fe \rightarrow$ Cu-Pb-Zn $\rightarrow$ Au mineral zonings from bottom to top or from inside to outside and the pattern of the skarn type $\rightarrow$ tectonic altered rock type $\rightarrow$ quartz vein type mineral zonings from the center to the outside. The sulfur and lead isotopic compositions and their variation ranges of representative deposits are relatively consistent, and the oreforming fluids have similar characteristics, showing that different types of mineralization may have formed in the closing process of the Meso-Tethys Ocean in the early Cretaceous. Based on the characteristics of typical deposits and the sequences of tectonic events in the study area, the metallogenic model for polymetallic iron-copper-goldlead-zinc deposits in Jinchanghe ore concentration district is proposed to provide scientific basis for future geological prospecting in the area.

Key words: Lead-zinc polymetallic deposit; metallogenic geological characteristics; metallogenic system; Jinchanghe ore concentration district; Baoshan block

# 0 引言

西南"三江"特提斯域历经大陆多旋回演化,地 质构造发育,岩浆活动强烈,成矿流体活跃,特有的 成矿环境及成矿地质背景,致使金属成矿元素大量 富集,是我国重要的铁 - 铜 - 铅 - 锌 - 金 - 银等金 属矿产地,资源优势明显,找矿潜力巨大,已成为地 质找矿以及国内外开展地质科学研究工作的重点 区域(李文昌等, 2001;潘桂棠等, 2001;侯增谦 等, 2004; Hou et al., 2007;邓军等, 2014; Deng et al., 2016, 2017a, 2017b)。

保山地块是"三江"特提斯构造带的重要组成 部分,区内历经原、古、中、新特提斯洋演化及早古 生代至新生代多期次岩浆活动,并发生了多期成岩 成矿事件(陶琰等,2010;Dong et al.,2013;Li et al., 2016)。金厂河铁铜金铅锌多金属矿集区位于保山 地块北部,产出有多个大中型铅锌金多金属矿床, 其中金厂河铁铜铅锌多金属矿床是西南"三江"成 矿带内已知的典型大型砂卡岩型矿床之一,备受业 内关注。近年来,随着地质勘查工作程度的提高, 对区内代表性铅锌多金属矿床的矿床地质特征及 地球化学特征(符德贵等,2004; 薛传东等,2008; 张恩才等,2010; 董文伟等,2013)、成矿流体(黄 华,2014;郑景旭,2017;陈福川,2018;李振焕 等,2020)和成岩成矿年代学(陶琰等,2010;黄华 等,2014a;罗应等,2020)等方面开展了研究工作, 并以地质、物探、化探综合调查为基础,总结了区内 金铜多金属矿床的成矿控制因素及成矿机制(王基 元等,2021),深化了对区内成矿作用的理解和矿床 成因的认识。研究发现,金厂河、核桃坪、黑牛凹等 矿床成矿流体性质具有一定的相似性,成矿物质的 来源具有同源性(薛传东,2008;黄华,2014b;杨怀, 2017;陈福川,2018;李振焕,2020)。以上研究工作 的开展为金厂河铁铜金铅锌多金属矿集区成矿系 统的研究与总结提供了重要基础。

本文在系统梳理以往研究工作的基础上,结合 最新研究成果,对金厂河矿集区主要矿床地质特征 和地球化学特征进行了较为全面地研究和总结,对 成矿系统的划分作了新的界定,以期为该区地质找 矿工作提供科学参考。

### 1 成矿地质背景

#### 1.1 地质构造特征

西南"三江"特提斯构造域经历了大陆形成与 裂解及原一古—中—新特提斯洋扩张—消减—闭 合—碰撞—构造转化等过程,形成了复杂的多岛弧

盆系结构(邓军等, 2016)。金厂河矿集区位于藏-滇 - 泰 - 马中间板块中段的保山地块北中部 (Metcalfe I, 2013), 夹持于昌宁 - 孟连结合带和腾 冲地块之间,北段尖灭于碧江一带澜沧江断裂与怒 江断裂汇拢部位,东界为柯街-南定河断裂,西界 为泸水- 潞西-瑞丽断裂(怒江断裂南段)。受区 域构造演化的影响,本区主要经历了寒武纪至早二 叠世原--古特提斯稳定台地及台盆阶段、早二叠世 末至三叠纪古特提斯俯冲 - 碰撞阶段两个漫长的 地质演化过程(罗建宁等, 1991)。寒武纪-志留纪 早期,原特提斯洋经历了洋脊扩张、板片俯冲及洋 盆衰亡的复杂演化过程,但保山地块晚寒武世核桃 坪组-志留纪栗柴坝组基本上为连续的陆棚-台 地碳酸盐岩沉积,为较为稳定的地壳发展演化时期 (钟维敷, 2014)。志留纪晚期,华北与华南陆块从 冈瓦纳大陆发生分离,原特提斯洋盆进一步缩小, 直至消亡,古特提斯洋盆开始逐渐扩张(Xiao et al., 2019)。晚二叠世之后,华南地块和羌塘、思茅、保 山等地块一起向北运移,于中晚三叠世时期(240~ 220Ma) 随金沙江 - 墨江洋壳的西向俯冲和思茅地 块与保山地块发生碰撞,在思茅地块的东西两侧, 古特提斯洋东支与西支相继闭合,先后形成金沙江 - 哀牢山缝合带和昌宁 - 孟连 - 澜沧江结合带(邢 晓婉, 2016; 董美玲, 2016)。该区主要出露早古生 代复理石海底扇浊流碎屑岩和台地碳酸盐岩及浅 海陆棚碎屑岩,另有少量的晚古生代滨浅海碳酸盐 岩及碎屑岩。受早二叠世末期昌宁 - 孟连特提斯 洋的俯冲作用和陆-陆碰撞作用影响,研究区缺失 晚二叠世及三叠纪沉积(罗亮等,2014)。

#### 1.2 区域地球物理特征

重力资料反映,区内碳酸盐岩类、基性侵入岩 密度值较高,砂岩、页岩次之,花岗岩及崇山群变质 岩密度较低,花岗岩与寒武系沉积岩地层之间存在 一定的密度差。在金厂河一带重力异常近椭圆状 重力高,梯度北西,北东侧变化大(李文昌等,2001; 符德贵等,2004)。航磁资料显示,区内磁场值变化 较明显,区内泥盆系、志留系、奥陶系及寒武系地层 岩石大部分为弱磁性,而磁性最强的为铜铅锌矿化 矽卡岩(云南黄金矿业集团股份有限公司,2012<sup>①</sup>)。 在核桃坪、上厂、陡崖、金厂河、岩峰头、黑牛凹等 地,磁场变化强烈,形成了具有一定面积、梯度变化 较大的磁异常,磁异常均分别对应了矽卡岩型铁铜 铅锌矿体(董文伟等,2007;杨飞等,2019)。以上 资料显示,区内重磁异常与金厂河矿集区矿床(点) 的分布大体范围一致,矽卡岩型矿体是引起异常的 主要影响因素。

#### 1.3 区域地球化学特征

1:20 万水系沉积物及1:5 万土壤化探测量成 果显示,Pb、Zn、Cu、Ag、Au等元素异常主要沿保山 复背斜两翼和南北倾伏端呈带状展布(刘洪滔等, 2013)。成矿元素为Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Hg等,高值 区主要分布在寒武系地层上,为含矿地层,在金厂 河-核桃坪地区亲铜元素尤其富集,以核桃坪为中 心形成了Pb、Zn、Cu、Cd、Ag等元素的高浓集异常 区,并具多处浓集中心,在陡崖、黑岩凹等地也有较 好的化探异常(董文伟等, 2007;杨飞等, 2019)。

### 2 矿床地质特征

"三江"特提斯域曾历经晚古生代至中生代的 特提斯构造演化及新生代大陆造山的叠加转换,发 生过多幕式大规模成矿作用,完整记录了超大陆裂 解、增生、碰撞的演化史,目前仍旧活跃(黄汲清等, 1984;刘增乾等,1993;李兴振等,1999;邓军, 2012,2014)。受区域构造演化的影响,保山地块先 后历经原、古、中、新特提斯演化,并发育了多期成 岩成矿事件,是西南"三江"特提斯域构造 - 岩浆成 矿带南段的重要组成部分。在北部形成了以金厂 河铁铜铅锌矿、核桃坪铅锌矿、陡崖铁铜多金属矿、 黑牛凹金矿、黄家地金矿等为代表的多金属矿集区。

#### 2.1 金厂河矽卡岩型铁铜铅锌多金属矿床

金厂河铁铜铅锌矿床位于保山地块北部,是保 山地块多金属成矿作用的典型代表。大地构造位 置处于冈底斯-念青唐古拉褶皱系南段,福贡-保 山-镇康铅锌多金属成矿带北部,核桃坪背斜东段 的金厂河隆起部位(符德贵等, 2004)。矿区处于近 SN 向木瓜树 - 朱石箐断裂与 NW 向木瓜树 - 阿石 寨断裂所夹持锐角区的 NE、NW 向构造交汇处(董 文伟,2007)。金厂河铅锌多金属矿床共圈定铅锌 矿体43条、铜矿体57条及磁铁矿体65条,矿体为 隐伏矿体,赋矿围岩为上寒武统核桃坪组二段  $(\in,h^2)$ 大理岩化灰岩、阳起石砂卡岩、石榴子石砂 卡岩和黑柱石砂卡岩等,矿体呈透镜状、脉状和似 层状产出,局部呈现分支--复合现象。矿体垂向和 侧向分带明显,垂直分带上部铅锌矿、中部铜矿和 铜铁矿、下部铁矿(图3);侧向分带中心铁矿、中部 铜矿、外侧铅锌矿,在中部铜与铅锌矿过渡,其外侧



图 1 保山地块构造背景图(a)和保山地块主要构造、岩浆作用及矿床位置图(b)(底图据陶琰等, 2010) Fig 1 Tectonic setting map (a) and the main structure, magmatism and deposit location map (b) of the Baoshan block(after Tao et al., 2010)

可能为金矿化分带。

矿体浅部主要为透镜状、似层状阳起石砂卡岩带,产出于金厂河背斜核部的核桃坪组二段一层 ( $\in_{3}h^{21}$ )下部,具 Pb-Zn 矿化,已揭露矿体厚度在3 ~48m之间。原岩以灰岩和泥灰岩为主,夹少量钙 质板岩。中部主要为透镜状、似层状石榴子石阳起 石砂卡岩带以 Cu 矿化为主,靠近浅部局部含 Pb-Zn 矿化,靠近深部含磁铁矿矿化,为承上启下的过渡 带,残余结构发育,表现为石榴子石被后期网脉、细 脉状方解石不同程度穿切。深部主要为似层状黑 柱石阳起石砂卡岩带,以磁铁矿化为主,局部发育 黄铜矿化,目前已施工完成的钻探和坑道工程未穿透底板。

矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和磁 铁矿,伴生少量黄铁矿、磁黄铁矿、斑铜矿和毒砂; 脉石矿物为石榴子石、透辉石、阳起石、石英、方解 石和黑柱石等。围岩具砂卡岩化、退化蚀变、硅化 和碳酸盐化等蚀变特征,主要是原岩中的矿物被蚀 变矿物取代而形成,蚀变矿物包括石榴子石、透辉 石、黑柱石、阳起石、绿帘石、绿泥石、石英和方解 石等。





#### 2.2 核桃坪矽卡岩型铅锌多金属矿床

云南保山核桃坪多金属矿区位于保山地块北 部保山 – 施甸复背斜东翼北倾伏端与北西向区域 性断裂交汇地带。赋矿地层为寒武系上统核桃坪 组( $\epsilon_3h$ )和沙河厂组( $\epsilon_3sh$ )碳酸盐岩建造夹板岩、 砂岩等碎屑岩,普遍具有大理岩化特征。

核桃坪铅锌矿体产于上寒武统沙河厂组一段 ( $\in_3 sh^1$ )薄—中层状大理岩化灰岩、泥质条带状灰 岩内的断层破碎带及层间破碎带中,呈脉状、似层 状产出(图 4),矿体走向近南北,倾向东 40°~ 110°,倾角 27°~60°。区内圈定矿体 6 条,矿体长 50~590m;  $V_1$ 为主矿体,矿体长 590m,厚 0.52~ 27.65m、平均 8.14m,倾向延伸大于 122m,矿体单 工程平均质量分数:Pb 为 0.60% ~ 5.97%,Zn 为 2.59% ~ 8.52%,铅锌比为 1:4.22。矿化类型包 括砂卡岩型富铜矿体、砂卡岩型磁铁矿体和砂卡 岩型、热液脉型铜铅锌多金属矿体,矿体主要赋存 在寒武系碳酸盐地层,围岩蚀变有砂卡岩化、大理 岩化、硅化、黄铁矿化、绿泥石化、方解石化等。

矿石类型以铅锌硫化物矿石为主,金属矿物 主要有含闪锌矿、方铅矿、黄铁矿及少量黄铜矿; 脉石矿物有阳起石、透辉石、方解石、石英、重晶石 等;氧化矿物有水锌矿、菱锌矿、白铅矿、异极矿、孔 雀石、褐铁矿等。伴生矿产有铜、银、镉,矿床类型为具 一定层控特征的砂卡岩型铅锌多金属矿(薛传东等, 2008)。



图 3 金厂河铁铜铅锌多金属矿床 I-I'线垂直纵剖面图(云南黄金矿业集团股份有限公司,2011<sup>3</sup>) Fig. 3 Vertical profile of I-I' line in Jinchanghe Fe-Cu-Pb-Zn polymetallic deposit(after Yunnan Gold Mining Group Co. LTD, 2011<sup>3</sup>)

#### 2.3 陡崖矽卡岩型铁铜多金属矿床

陡崖铁铜多金属矿位于金厂河矿集区西南部, 产于核桃坪背斜西翼之北北东向木瓜树 - 朱石箐 断裂东侧。区内具有较好的磁异常和化探异常,经 地表工程及地下坑探工程揭露,已发现了较好的 铜、铅锌、铁矿体。

区内属茅竹棚 - 核桃坪复破背斜西翼,总体呈 一单斜构造,倾向北西,倾角28°~32°,由于断裂发 育,地层产状零乱。区内断裂构造发育,构造线以 北北东向为主,其次为北西向。近北北东向断裂与 成矿关系密切,显示先张扭后压扭的特点,断裂两 侧纵张裂隙和破碎带发育,为矿区主要导矿和容矿 构造。矿体产于寒武系上统核桃坪组(€,h),受地 层及断裂破碎带控制。经地质填图及地表工程揭 控,共圈定矿体5条,具一定规模的铅锌矿体有3 条,即 DYV5、DYV1、DYV2 矿体(图 5),经钻探工程 验证,圈定出隐伏的砂卡岩型磁铁矿体1条。

#### 2.4 黑牛凹中低温热液型金矿床

矿区构造位置处于"三江"造山带"蜂腰"状弧 形构造南侧散开端的末端部分,保山陆块与兰坪-思茅盆地相接且靠近保山陆块一侧。断裂发育,主 要为近南北向,显示先张裂后压扭多期次活动特 征,南北向断层为主,北东、北西向断层次之,断裂 带产有不同期次基性岩。断裂两侧纵张裂隙和破 碎带发育,为矿区主要导矿和容矿构造。

矿区共划分出3个金矿化带,均呈近南北向展 布,其中Ⅱ矿化带为矿区的主成矿带。Ⅱ矿化带, 分布于矿区中部,主要出露核桃坪组二段一层 (€,h<sup>2-1</sup>)板岩、粉砂质板岩夹砂岩及二段二层 (€,h<sup>2-2</sup>)泥质灰岩、大理岩化灰岩等,局部见少量辉 绿岩,呈岩脉、岩枝状产出。区内构造较发育,主要见



图 4 打厂凹 - 核桃坪矿体剖面图(据王基元等, 2021 修改) Fig. 4 Profile of Dachangwa-Hetaoping orebodies (modified from Wang et al., 2021 )



图 5 陡崖铜多金属矿区 0 线剖面图(据胡安林等, 2020) Fig. 5 Profile of line 0 in Douya Cu polymetallic mining area (revised after Hu et al., 2020)



图 6 黑牛凹金矿区 30 线地质剖面图(据陶兴雄等, 2020 修改)

Fig. 6 Geological profile of line 30 in Heiniuwa Au mining area(modified from Tao et al., 2020)





近南北向展布的 F3 断层及其配套节理、裂隙等,在 北部坑道中,发育有近东西向平移小断层,沿 F3 断 层及其附近,岩石破碎,局部形成构造角砾岩,矿化 蚀变强烈, II1 金矿体则产于其中(图6)。

矿石结构有它形粒状结构、碎裂状结构;构造 具条带状构造、晶洞状构造、块状构造、砂糖状构 造、角砾状构造及细脉状构造。矿石中有用组分为 金,金属矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿;脉 石矿物以石英为主,其次为粘土矿物(泥质物)、方 解石、绢云母、高岭石、绿泥石等。硅化、黄铁矿化 与金成矿关系密切。

#### 2.5 黄家地中低温热液型金矿床

矿区位于茅竹棚 - 核桃坪复式背斜西翼,受构造影响,次级褶皱较发育,地层产状变化大。区内断裂发育,断层与矿体的产出关系密切,按走向主要有近 SN向、NWW向、NNE向三组,其中近 SN向断裂为矿区主要的容矿构造。矿体产于寒武系上统沙河厂组一段(∈<sub>3</sub>sh<sup>1</sup>),受断裂破碎带及石英脉的双重控制(图7),含矿岩石为构造蚀变岩及黄铁矿化石英岩(脉)。经地表槽探、中浅部坑探工程揭露,矿区具一定规模的金矿体。矿体呈脉状产出,矿体长 230 ~ 798m,平均厚 1.45 ~ 11.69m,平均晶位 Au 0.84 ~ 4.20g/t,矿床成因类型为与隐伏花岗岩体及断裂构造破碎带有关的中低温热液型金矿床。

# 3 成矿主控因素

#### 3.1 赋矿地层

区内出露地层比较齐全,主要包括古生界、中 生界以及新生界,整体呈"双层复合结构",变质基 底为古老的震旦系至寒武系公养河群( $Z \rightarrow \in gy$ ) (黄勇等,2012),属板岩、砂页岩和硅质岩建造为主 的台盆相沉积(邓必方,1995;杨学俊等,2012),沉 积盖层为上寒武统至中生界地层,属碳酸盐岩和碎 屑岩等为主的台地相沉积,经区域变质作用岩石多 变为大理岩、大理岩化灰岩和粉砂质或钙质板岩, 其间缺失二叠系上统和三叠系下统,地层之间呈平 行不整合接触关系(邓必方,1995;陶琰等,2010)。 区内赋存的 Cu、Pb-Zn、Au-Ag 等金属矿床多沿层间 破碎带产出,赋矿地层为寒武系沙河厂组( $\in_3 h$ )碳 酸盐岩和核桃坪组( $\in_3 h$ )大理岩化灰岩、阳起石砂 卡岩、石榴子石砂卡岩和黑柱石砂卡岩。

#### 3.2 岩浆作用

保山地块岩浆活动较为频繁,由前寒武纪至新 生代均有发育。前寒武纪有西盟老街子花岗岩和 潞西花岗岩,其 Rb-Sr 等时线年龄分别为 687Ma 和 645Ma(张玉泉等, 1990;李文昌等, 2013)。早古生 代岩浆岩在保山地块内分布广泛,有平河岩体、平 达、勐堆、赧洒和松坡岩株等,锆石 U-Pb 年龄集中 于 500~470Ma,形成于统一的冈瓦纳大陆时期。

| 表1 滇西保山地块金厂河矿集区铁铜铅锌多金属矿床地质特征 | le 1 The main ore deposits in Jinchanghe polymetallic ore concentration district of the Baoshan block |
|------------------------------|---|
|                              | Table   |

| 矿床<br>规模  | 大型  | 大型   | 小型   | 中型   | 小型   | 中型   | 小型   | 本   | 矿点   | 矿点   | 超大<br>型  |
|-----------|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|
| 矿石品位      | Pb 0.68%<br>Zn 3.19%<br>Cu 0.12%<br>TFe 35.02%  | Pb+Zn 5%~11%   | Pb 0.24%~5.37%;<br>Zn 0.32%~6.04%;<br>Cu 0.4%, TFe<br>18.12% | Au 1.01 ~13.16 g/t   | Au 0 ~2.35g/t, Pb<br>0.02%~5.72%<br>Zn 0.03%~11.4%,<br>TFe 0.04%~24.87%      | Au 0.84~4.20g/t                                    | Au 1.15~2.12g/t;<br>Cu 0.02%~0.64%;<br>Pb 0.46%~1.65%;<br>Zn 1.59%~8.70% | Pb 2.38%~-3.68%;<br>Zn 2.69%~-6.64%               | Au 1.17~4.17 g/t                                 | Cu 0.04%~0.19%;<br>Pb 0.72%~1.53%,<br>Zn 1.90%~4.94% | Pb+Zn 2.32%<br>~15.91%;<br>Zn/Pb=1.04~4.76             |
| 围岩蚀变类型    | 砂卡岩化、大理岩<br>化、黄铁矿化和硅<br>化为主                     | 砂卡岩化、大理岩<br>化、黄铁矿化                                   | 硅化、褐铁矿化、<br>大理岩化以及砂<br>卡岩化                                   | 硅化、黄铁矿化、<br>磁铁矿化、黄铜矿<br>化                                      | 强硅化、黄铁矿<br>化、砂卡岩化  | 强硅化、褐铁矿化   | 砂卡岩化、褐铁矿<br>化、硅化、大理岩<br>化、方解石化   | 硅化、砂卡岩化、<br>硫铁矿化、大理岩<br>化、绿泥石化、方<br>解石化           | 硅化、砂卡岩化、<br>硫铁矿化、大理岩<br>化、绿泥石化                   | 砂卡岩化、硫铁矿<br>化  | 砂卡岩化、硅化、<br>黄铁矿化及大理<br>岩化                              |
| 金属矿物      | 以方铅矿、闪锌矿、黄铜矿<br>和磁铁矿为主,伴生少量黄<br>铁矿、磁黄铁矿及斑铜矿     | 方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、<br>磁铁矿                                  | 方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、<br>磁铁矿  | 黄铁矿、自然金、磁黄铁矿、<br>毒砂、黄铜矿  | 自然金(微细粒)、方铅矿、<br>闪锌矿、磁铁矿、黄铜矿、<br>黄铁矿、异极矿、白铅矿、<br>菱碎矿、褐铁矿                     | 黄铁矿、自然金  | 方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、<br>磁铁矿  | 方铅矿、闪锌矿、铅矾、水<br>锌矿、磁铁矿, 次为黄铁矿、<br>褐铁矿、少量黄铜矿       | 方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、<br>伴生金                              | 黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、<br>黄铁矿、磁铁矿                              | 闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、<br>黄铜矿、磁铁矿                                |
| 矿体特征      | 矿体呈透镜状、脉状或似层状产出,<br>倾向南西向:在金厂河背斜核部矿化<br>较强,厚度较大 | 矿体呈似层状、层状、透镜状产于,<br>断层的周期性错移使该矿床呈雁列式<br>展布,矿体与地层产状一致 | 圈定矿体6个,上部铅锌矿下部铁矿,<br>垂向分带现象明显                                | 金矿体均产于核桃坪复背斜轴部附<br>近, 共3 个金矿化带,均呈近南北向<br>展布,其中Ⅱ矿化带为矿区的主成矿<br>带 | 矿体受地层、构造控制明显,以透镜<br>状、似层状、层状为主   | 矿体呈脉状产出,受断裂破碎带及石<br>英脉双重控制                         | 产于核桃坪背斜西翼之北北东向木瓜<br>树—朱石箐断裂东侧: 受地层及断裂<br>破碎带控制, 矿体呈脉状产出                  | 矿体产于核桃坪紧密性破背斜近核部<br>沙河厂组下段构造破碎带中, 受岩性、<br>断裂控制明显。 | 金矿体近南北向产于核桃坪破背斜西<br>翼,受构造、地层双重控制,矿体呈<br>脉状-似层状产出 | 矿体受断层控制,走向近南北,倾角<br>较陡,矿体厚度变化大。                      | 矿区分为1、11、1113个矿带, 其中<br>11矿带规模最大, 呈似层状、脉状产<br>出,并呈带状分布 |
| 矿区主要地层    | 寒武系上统核桃坪组二<br>段(∈ 34 <sup>2</sup> )变质碳酸盐岩       | 寒武系上统核桃坪组中<br>厚层大理岩化灰岩和泥<br>质岩                       | 寒武系上统核桃坪组上<br>段一层钙质板岩夹粉砂<br>质板岩                              | 寒武系上统核桃坪组<br>(∈ 幼)钙质板岩夹粉砂<br>质板岩                               | 沙河厂组一段 (∈ <sub>3</sub> d <sup>1</sup> )<br>薄层状大理岩化灰岩、大<br>理岩或蚀变辉绿岩中断<br>裂破碎带 | 寒武系上统沙河厂组一<br>段(∈ ₃h <sup>1</sup> )大理岩化灰岩<br>夹鲕粒灰岩 | 寒武系上统核桃坪组一<br>段一层(∈ м <sup>1-1</sup> )大理岩化<br>灰岩夹鲕粒灰岩                    | 寒武系上统沙河厂组<br>(∈ <sub>3</sub> h')大理岩化灰岩夹<br>鲕粒灰岩   | 寒武系上统沙河厂组一<br>段 (∈ ₃ロ¹)层状钙质板岩<br>夹粉砂质板岩          | 寒武系上统核桃坪组二<br>段(∈ 3 <sup>4</sup> )变质碳酸盐岩             | 上寒武统沙河厂组<br>(∈₃⁄h)组大理岩化灰岩                              |
| 主成矿<br>元素 | Fe-Cu-Pb-Zn                                     | Fe-Cu-Pb-Zn  | Fe-Cu-Pb-Zn  | Au   | Pb-Zn-Au   | Au   | Pb-Zn-Fe-Cu-<br>Au   | Pb-Zn   | Au-Pb-Zn-Cu                                      | Cu-Pb-Zn-Ag  | Fe-Cu-Pb-Zn  |
| 矿床类型      | 砂卡岩型  | 砂卡岩型   | 砂卡岩型   | 中 - 伝温<br>热液(駅)<br>裡金矿床  | 裁<br>→ 型<br>→ 割<br>の<br>の<br>の   | 中 - 低温<br>热液(脉)<br>型金矿床                            | 热液 - 水<br>卡<br>型<br>小  | 砂卡岩型  | 慭<br>→<br>御<br>御<br>令<br>ゆ                       | 砂卡岩型   | 砂卡岩型   |
| 矿床名称      | 金厂河   | 核桃坪  | 黑岩□  | 黑牛凹  | 打厂四  | 黄家地  | 陡崖   | 茅竹棚   | 岩子背后   | 니귀   | 四十五  |
| 序号        | -1  | 7  | ς  | 4  | ŝ  | 9  | ٢  | ×   | 6  | 10   | 11   |

#### 滇西保山地块金厂河矿集区铁铜金铅锌多金属矿床成矿系统

141

相关资料显示,上述岩体岩浆源于古老地壳物质部 分熔融,与原特提斯洋的俯冲作用有关(Chen et al., 2007; Liu et al., 2009; 董美玲等, 2013)。晚古生代 岩浆活动在卧牛寺组玄武岩中有相关记录,主要分 布在滇西保山-永德-镇康一带,其40 Ar-39 Ar 年龄 为273.9±1.5Ma和279.5±1.6Ma,可能属于晚古 生代峨眉地幔柱活动的产物(肖龙等,2003;曹俊 等,2017)。中生代岩浆岩较为发育,主要有出露于 保山地块东部的临沧花岗岩基和中西部的蚌东岩 体。其中,蚌东岩体岩性以正长花岗岩为主的锆石 U-Pb 年龄为 228.3 ± 1.7Ma,其成因可能与保山地 块岩石圈地幔的拆沉作用或与大洋板片俯冲作用 有关(王晓林等, 2018);临沧花岗岩基的岩石类型 为花岗闪长岩和黑云母二长花岗岩,锆石 U-Pb 年 龄为233~217Ma,起源于古老地壳物质部分熔融, 是古特提斯洋闭合后构造伸展阶段的产物(王舫 等,2014)。新生代岩浆活动以桦桃林岩体为代表, 石 U-Pb 年龄为 66~60Ma,其岩浆可能源于古地壳 部分熔融且受幔源物质混染(董美玲, 2013)。

#### 3.3 构造控制作用

保山地块地处特提斯构造域,地壳演化经历了 长期、复杂的演化历史,形成了多级次、多期次的地 质构造及岩浆活动。区内构造以发育密集排列的 断裂和宽缓褶皱为特征,主要呈 NE 向、NW 向、近 SN 向和 EW 向展布,是控制沉积构造、变质作用、岩 浆活动及矿床分布的主要构造(鲍威等,2020)。区 域主干断裂有澜沧江断裂、柯街断裂、南汀河断裂 及西部的怒江断裂,次级断裂发育,断裂构造呈现 多期性,NW 向、NE 向断裂明显多处错段紧密排列 的 NNW 向断裂,控制了保山陆表海局部原始沉积 环境,同时提供了广泛的热源活动和矿液运移通 道,也是成矿的关键部位。区内褶皱较为发育,北 部为保山-施甸复背斜,南部为镇康复背斜,与铅 锌多金属矿床的空间分布关系密切。背斜核部的 倾伏端往往次级断裂较为发育,热液活动强烈,为 矿床的定位提供了主要条件。区内金厂河铁铜铅 锌多金属矿、核桃坪铅锌矿均位于保山复背斜北部 的核桃坪背斜倾伏端,沿轴部及东翼分布的近南北 向及北东向断裂与成矿密切相关,断裂两侧的张性 裂缝和破碎带是主要的导矿和容矿构造(王基元, 2021)。因此,区内已知的大一中型铅锌多金属矿 床的规模分布多受构造的影响,褶皱和断裂的联合 控矿特征明显。

# 4 成矿系统研究

### 4.1 矿床空间分布特征

区内矿产资源丰富,矿床形成是沉积作用、强 烈构造和岩浆活动等诸多成矿因素相互叠加的结 果。目前,地质勘查已经发现的矿体类型主要有矽 卡岩型铜铅锌多金属矿、矽卡岩型磁铁矿及浅成低 温热液(脉)型金矿等,各矿床整体沿 NNW 向构造 断裂带或与碳酸盐岩围岩接触带及其附近分布。 从矿床的空间分布来看,金厂河矿集区内主要铅锌 多金属矿床大多位于海拔 2600~1800m 的标高范 围。根据已探明矿床的特征分析(表1),矿床类型 主要有砂卡岩型 Fe-Cu-Pb-Zn 多金属矿床(金厂 河)、热液-矽卡岩复合型矿床(核桃坪、黑岩凹、茅 竹棚、陡崖和打厂凹)、浅成低温热液型 Au 矿床(黑 牛凹、黄家地、上坪子、大金岩),除此之外还有月牙 坪铜矿和上坪子汞矿等,矿床侧向及垂向上分带特 征明显。区内矿床成矿空间上具有明显分带规律, 单个矿床在垂向上、平面上均呈有规律地分布,其 分带标志除了矿床类型外,还表现在有用矿物组合 及元素分带。由下往上、由内向外均有 Fe→Cu-Fe →Cu-Pb-Zn→Au 矿种分带及"矽卡岩型→构造蚀变 岩型(含层间破碎带型)→石英脉型"的矿床类型分 带,成矿元素均从高温元素到中低温元素分带。

### 4.2 成矿时代

滇西保山地块成岩成矿时代的年代学研究工 作相对较为薄弱,尚缺少对成矿时代的精确厘定, 本文综合整理已有的同位素年龄数据列于表2所 示。前已述及,保山地块经历了原、古、中、新特提 斯的构造演化全过程,早古生代、印支期、燕山期、 喜山期均有成岩成矿事件的响应(黄华等,2014)。 区内赋存在早古生界碳酸盐岩中的矽卡岩型铅锌 多金属矿床与特提斯构造演化阶段的构造 – 岩浆 事件密切相关。

黄华等(2014)开展了金厂河铅锌多金属矿床 石英-硫化物阶段砂卡岩矿石中闪锌矿、方铅矿、 黄铜矿和石英的 Rb-Sr 定年,获得矿床成矿年龄为 120~117Ma,属于早白垩世。这与保山核桃坪铅锌 矿矿石硫化物 Rb-Sr 等时线年龄(116.1±3.9Ma) 和芦子园铅锌矿 Rb-Sr 等时线成矿年龄(141.9± 2.6Ma)基本一致(陶琰等,2010;朱飞霖等, 2011),都属于早白垩世的成矿地质事件。保山地 块内已知的前寒武纪末期至新生代多次岩浆活动 形成的花岗岩体中,仅有早白垩世志本山黑云母花 岗岩体锆石 U-Pb 年龄为 126.7±1.6Ma(陶琰等, 2010),与金厂河、核桃坪矿床成矿时代一致,但二 者相距约 60km,距离过远。目前,金厂河矿集区内 尚未揭露出与成矿有关的中 - 酸性岩体。因此,认 为与区内铁铜铅锌多金属矿床形成有关的中 - 酸 性岩体可能位于矿区深部。

保山-镇康地块以古生代—中生代砂卡岩型 铁铜铅锌金成矿作用为主,寒武系地层普遍发生浅 变质作用,而奥陶系之上的地层均未发生变质,表 明在寒武纪末期--奥陶纪早期,该区发生了一次重 要的地质事件(钟维敷, 2014)。另外,值得一提的 是项目组近期对金厂河铁铜铅锌矿床含矿矽卡岩 采用石榴子石原位 LA-SF-ICP-MS U-Pb 定年方法. 获得含矿砂卡岩的形成年龄为502±14 Ma和508 ±19 Ma,表明区内存在早古生代的成矿事件(李方 兰等,2021)。结合芦子园铅模式年龄(502~ 409Ma)(陈永清等,2005),表明保山金厂河、芦子园 等铅锌多金属矿的成矿作用至少开始于早奥陶世, 或是主成矿期之一,并且该区晚寒武世的火山-沉 积作用可能形成了初始的铅锌铜铁等矿源层,在侏 撞的动力学背景之下而产生的岩浆热液活动中成 矿物质活化转移,最终富集成矿。这些结论证实了

金厂河铅锌多金属矿集区可能存在早古生代的成 岩成矿作用,这也为区内矽卡岩型铅锌多金属矿床 成矿时代的认识提供了新的证据。

#### 4.3 成矿物质来源

成矿物质是构成成矿系统和形成矿床的物质 基础,也是矿床成因研究的重要内容之一。对区内 成矿物质的来源前人曾有少量的研究,结果表明金 厂河矿集区典型铅锌多金属矿主要硫化物(闪锌  $\vec{u}$ 、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂等)的 $\delta^{34}$ S 值变化 于-4.8‰~5.8‰,平均为1.4‰;围岩中的δ<sup>34</sup>S值 变化于-0.93‰~4.58‰,平均为2.9‰,δ<sup>34</sup>S具有 明显的塔式分布的特点(李振焕等, 2020),说明硫 同位素的分布变化范围较窄,具有较高的均一性, 显示幔源硫的特征(图8)。金属硫化物与围岩中的 硫同位素  $\delta^{34}$ S 值的变化范围较为一致,说明两者具 有相同或者相近的来源,显示硫的来源较深。矿区 硫同位素 δ<sup>34</sup>S 高于与深部岩浆作用有关硫化物的 硫同位素组成( $\delta^{34}S = \pm 3\%$ ),但保山地块典型铅 锌多金属矿床的硫同位素组成明显低于围岩地层 同期海水 $\delta^{34}$ S值(寒武纪海水下限值为15‰)(陈 永清等,2005;Hoefs J,2009;李振焕等,2020)。此 外,各矿物硫同位素研究结果表明, $\delta^{34}$ S闪锌矿 >  $\delta^{34}$ S方铅矿,矿床硫同位素已达到了同位素分馏平衡 (郑永飞等,2000;陈福川,2018;李振焕等,2019)。

| 序号 采样地点 |      | 岩性    | 测定对象  | 测试方法      | 年代(Ma)               | 资料来源                   |  |  |  |
|---------|------|-------|-------|-----------|----------------------|------------------------|--|--|--|
| 1       |      | 辉绿岩   | 错石    |           | 497. 2 ± 5. 4Ma      |                        |  |  |  |
|         |      |       |       | 山内。完年     | 497. 8 $\pm$ 3. 9 Ma |                        |  |  |  |
|         | 今广河  |       |       |           | 463. 2 $\pm$ 4. 7 Ma | 聖 应 2020               |  |  |  |
|         | 壶/ 内 |       |       | 0-110 定平  | 214. 3 $\pm$ 3. 8Ma  | <u>مح اللار</u> , 2020 |  |  |  |
|         |      |       |       |           | $213.9 \pm 2.9$ Ma   |                        |  |  |  |
|         |      |       |       |           | 128. 5 $\pm$ 1. 5 Ma |                        |  |  |  |
| 2       | 金厂河  | 含矿矽卡岩 | 闪锌矿   | Rb-Sr 等时线 | 118. 9 $\pm$ 5. 9Ma  | 黄华等,2014               |  |  |  |
| 3       | 金厂河  | 今矿功丰毕 | 工物之工  | U Db 空在   | $502 \pm 14$ Ma      | 本古兰笙 2021              |  |  |  |
|         |      | 百世世下石 | 山佃」口  | 0-110 定十  | $508 \pm 19$ Ma      | 学力三寺,2021              |  |  |  |
| 4       | 核桃坪  | 含矿砂卡岩 | 矿石硫化物 | Rb-Sr 等时线 | 116. 1 ± 3. 9Ma      | 陶琰等, 2010              |  |  |  |
| 5       | 核桃坪  | 辉绿岩   | 错石    | U-Pb 定年   | 195 ± 5. 3Ma         | 韩艳伟等, 2010             |  |  |  |
| 6       | 黑牛凹  | 辉绿玢岩  | 错石    | U-Pb 定年   | 212. 3 ± 4. 9Ma      | 罗应等,2020               |  |  |  |
| 7       | 木厂   | 碱性花岗岩 | 锆石    | U-Pb 定年   | 240. 5 ± 3. 7 Ma     | 王帅帅, 2019              |  |  |  |
| 8       | 芦子园  | 铅锌矿   | 铅锌矿   | Rb-Sr 等时线 | 141. 9 ± 2. 6Ma      | 朱飞霖等, 2011             |  |  |  |
| 9       | 芦子园  | 同生方解石 | 方解石   | Sm-Nd 等时线 | $130 \pm 15$ Ma      | Xu et al., 2021        |  |  |  |

表 2 滇西保山地块铁铜铅锌多金属矿床成岩成矿时代 Table 2 Metallogenic epoches of polymetallic Fe-Cu-Pb-Zn deposits in Baoshan block, western Yunnan



数据来源:陈永清等,2005; 薛传东等,2008; 黄华等,2014; 陈福川,2018; 李振焕等,2019; 2020; 陡崖、黑岩凹数据来自本文

图 8 保山地块铅锌多金属矿床硫同位素成因图解 Fig. 8 S isotope genesis diagram of polymetallic Pb-Zn deposits in Baoshan block

金厂河铅锌多金属矿集区代表性矿床矿石中 硫化物(黄铜矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿) 的<sup>206</sup> Pb/<sup>204</sup> Pb 变化范围为 18.167~18.497,平均值 为18.316;<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb为15.596~15.609,平均值为 15.752,变化范围不大;<sup>208</sup> Pb/<sup>204</sup> Pb 为 38.812~ 41.656,平均值为38.802。各代表性矿床中不同类 型的矿石中硫化物铅同位素比值十分稳定,变化范 围较小,显示正常铅的特征。矿石铅同位素组成的 一致性表明,不同类型的矿化可能形成于同一地质 构造背景,不同矿床在成矿作用过程中其成矿物质 的来源具有相似性。铅同位素不仅能够提示 Pb 的 来源,同时也能被用来判别与 Pb 关系密切的硫化 物矿石中 Cu、Zn、Fe、Au 等成矿元素的来源。利用 矿石铅同位素全方位对比来判别矿石铅同位素的 来源是一种近年来被地质学界所认同的同位素示 踪方法(吴开兴, 2002)。将金厂河矿集区各代表性 矿床的铅同位素数据投影到 Doe 和 Zartman 建立的 铅同位素模式图解中,绝大部分为正常铅,在 Pb<sup>207</sup>/ Pb<sup>204</sup> - Pb<sup>206</sup>/Pb<sup>204</sup>图解中落入造山带铅演化线及下 地壳的范围,在铅同位素 Pb<sup>208</sup>/Pb<sup>204</sup> - Pb<sup>206</sup>/Pb<sup>204</sup>图 解中样品主要集中于造山带演化线及下地壳一侧 (图9),有少数样品点落入上地壳的范围。因此,金 厂河铅锌多金属矿集区的铅主要来源于下地壳中 的造山带,其次是幔源铅,具多来源混合铅的同位 素特征。

另外,区内铅锌多金属矿床的铅同位素μ值变

化为9.46~9.97,平均为9.72,μ值均较高,其变化 范围很小,反映了高放射性成因的壳源铅同位素特 征。各代表性矿床中铅同位素组成略低于区内寒 武系地层的μ值,而与花岗岩有关的铅锌矿床(缅 甸金厂)基本一致,表明区内铅锌多金属矿床的形 成于中酸性岩浆活动可能存在密切的关系。Th/U 比值变化为3.52~5.10,平均为3.96,变化不大,表 明相对富集钍铅,与中国大陆地幔的Th/U比值(平 均3.60)较为接近,但低于中国大陆地壳下地壳的 平均值5.48。因此,金厂河矿集区代表性矿床铅主 要来源于地幔和下地壳的过渡环境,具壳幔混合来 源的特征。

#### 4.4 成矿流体来源

成矿流体是与成矿作用相关的特殊地质流体, 金属矿物的沉淀主要由流体沸腾、混合、相分离、冷 却以及流体与围岩间发生水-岩反应等机制引起 (Ulrich et al., 2001; Liu and Mc Phail, 2005)  $_{\circ}$   $\exists$ 有研究工作表明,金厂河铅锌矿流体包裹体类型可 分为: 单一液相(L型)、单一气相(V型)、富液相(₩型)、含子矿物(S型)包裹体。气相成分主要为 H<sub>2</sub>O<sub>5</sub>CO<sub>2</sub><sub>5</sub>CH<sub>4</sub>与N<sub>2</sub>,子矿物为斑铜矿(Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>),流 体属 H<sub>2</sub>O-NaCl 体系(李振焕等,2020)。退化蚀变 阶段、石英-硫化物阶段、碳酸盐阶段均一温度分 别为148.2~550℃、135.3~266℃、116.5~250℃, 盐度为 1.1wt.% ~ 9wt.% NaCl. eqv、6wt.% ~ 13wt. % NaCl. eqv 2. 6wt. % ~ 9. 9wt. % NaCl. eqv . 成矿流体主要为岩浆来源,后期伴有大气降水的参 与。综合研究认为,流体沸腾作用、水-岩反应和 氧化-还原环境的改变是矿质沉淀和富集的重要 机制。

核桃坪铅锌矿流体包裹体类型主要有,气液两相(W型)、纯液相(PL)、纯气相(PV)、含CO<sub>2</sub>(C型)包裹体。三成矿阶段均一温度分别为255~498°C、152~325°C、109~205°C,盐度分别为11.9wt.%~18.0wt.% NaCl. eqv、5.0wt.%~18.0wt.% NaCl. eqv、0.9wt.%~10.0 wt.% NaCl. eqv。各阶段砂卡岩矿物的 $\delta^{18}$ O值显示出相似的变化特征,表明初始成矿流体主要起源于岩浆热液,但在后期演化过程中有明显的大气水的混入(陈福川等,2018)。黑牛凹金矿流体包裹体分为4种类型,气液两相(II类)、含CO<sub>2</sub>三相包裹体(IV类)。石英-多金属硫化物阶段,均一温度为163.0~316.8°C;





图 9 铅同位素<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb - <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 、<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb - <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 构造环境判别图解(据 Zartman et al., 1981) Fig. 9 Tectonic environment discrimination diagram of <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb - <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb and <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb - <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb (after Zartman et al., 1981)

盐度为 2.4% ~ 22.2% NaCl. eql。碳酸盐阶段,均 一温度为 157.9~269.7°C。C、O 同位素研究表明, 成矿热液可能来源于深部岩浆水与大气降水的混 合(杨怀等, 2017)。

由上述可知,金厂河、核桃坪、黑牛凹矿床中主 成矿期的流体特征具有相似性,包裹体主要类型为 纯液相、纯气相、气液两相和少量含 CO<sub>2</sub>三相包裹 体,流体均一温度集中分布于 125 ~ 300℃,属中低 温热液矿床,流体包裹体的盐度变化于 0.18% ~ 22.2% NaCl. eql(图 10),成矿流体形成于中低盐度 的 H<sub>2</sub>O - NaCl 热液体系。核桃坪和金厂河成矿流 体性质相似,总体呈中 - 低温、中 - 低盐度、低密度 及中 - 低压力,主成矿阶段均有大气降水的混入。 另外,黑牛凹  $\delta^{34}S_{V-CDT}$ 的变化范围为 -0.9‰ ~2.7‰,

表 3 云南保山地块典型铅锌多金属矿床 Pb 同位素源区参数特征

Table 3Characteristic parameters of Pb isotope from the typical polymetallic Pb-Zn deposits in Baoshan block,Yunnan province

| 地区            | 会要         | $\mu({}^{208}{ m U}/{}^{204}{ m Pb})$ |                        |       | k(Th/U) |                       |           | 粉柏车派                 |  |
|---------------|------------|---------------------------------------|------------------------|-------|---------|-----------------------|-----------|----------------------|--|
|               | 参奴         | 上地壳                                   | 下地壳                    | 地幔    | 上地壳     | 下地壳                   | 地幔        |                      |  |
| 全球            | 均值         | 11.08                                 | 6.94                   | 10.01 | 3.76    | 5.85                  | 2.65      | Zartman et al. ,1981 |  |
| 中国大陆          | 均值         | 14. 98                                | 5.63                   | 8.44  | 3.47    | 5.48                  | 3.60      | 朱炳泉等,1998            |  |
| 金厂河           | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9. 63 ~ 9. 83<br>9. 79 |       |         | . 88 ~ 3. 96<br>3. 92 | 李振焕等,2020 |                      |  |
| 芦子园           | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9. 68 ~ 9. 97<br>9. 77 |       |         | . 88 ~ 3. 97<br>3. 90 | 王帅帅,2019  |                      |  |
| 核桃坪           | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9. 46 ~ 8. 85<br>9. 79 |       |         | . 82 ~ 3. 96<br>3. 89 | 薛传东等,2008 |                      |  |
| 黑岩凹           | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9.48~9.87<br>9.79      |       |         | . 73 ~ 3. 92<br>3. 89 | 本文        |                      |  |
| 陡崖            | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9. 74 ~9. 76<br>9. 75  |       |         | 3.87                  | 本文        |                      |  |
| 缅甸金厂          | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9. 63 ~ 9. 66<br>9. 65 |       |         |                       |           | <b>云</b> 工七竿 2012    |  |
| 保山地块寒武系<br>地层 | 变化范围<br>均值 | ç                                     | 9. 69 ~ 9. 64<br>9. 81 |       |         |                       |           | 彻玉龙守,2012            |  |



数据来源:杨怀等,2017;陈福川,2018;李振焕等,2019,2020 图 10 流体包裹体均一温度、均一盐度直方图 Fig. 10 Histogram for homogenization temperature and salinity of fluid inclusions

δ<sup>34</sup>S值的分布范围很窄,与核桃坪、金厂河铅锌矿中 硫同位素总体分布范围基本一致,反映了成矿物质 主要来自于深部流体,可能与中酸性岩浆密切相 关。上述特征表明,金厂河铁铜金铅锌矿集区矿床 的形成具有相似的流体特征,也指示成矿流体可能 来源于相同的源区。

#### 4.5 成矿作用机理

前已述及,保山地块处于原特提斯阶段演化阶段,晚寒武世核桃坪组为连续的陆棚-台地碳酸盐岩沉积作用,形成了核桃坪组一段富含 Pb、Zn、Cu、Ag等成矿元素的初始矿赋矿层位(陈永清等,2005)。古特提斯阶段,近南北向张性断裂的发育及基性岩浆的侵入作用,可能为后期成矿提供了空间、少量物质来源及矿化剂(鲍威等,2020)。古特提斯洋于早二叠世至晚三叠世期间发生扩张 - 碰撞拼合,腾冲和保山地块分离 - 碰撞,碰撞造山从挤压变为伸展(莫宣学等,2006),降压、升温作用下深部物质熔融形成大量富 K 的岩浆流(陈衍景等,2003),目前尚未揭露出与金厂河矿集区多金属矿床形成相关的中酸性岩体,说明矿体距岩浆侵位和热液出溶中心有一定距离,金属元素沉淀前要保持较强稳定性,才能满足远距离运移的需要。

温度是影响金属络合物稳定性的关键因素(Barnes, 1997),初始成矿流体具高温 – 高盐度 – 高氧逸度的特征,携带的 Fe、Cu、Pb 和 Zn 等金属元 素以稳定络合物(如:硫酸盐)形式存在、运移 (Roedder, 1971; Holland, 1972)。虽然在诸多影响 金属络合物稳定性的因素中,温度的降低最为重要 (Barnes, 1997),但其只是主导某一矿床形成的因素之一。金属沉淀主要由流体沸腾、混合、相分离、稀释、冷却以及流体与围岩间发生水-岩反应等机制中的至少一种引起(张德会, 1997; Ulrich et al., 2001; Liu and Mc Phail, 2005)。

金厂河、核桃坪、黑牛凹等矿床 C-H-O 同位素 特征显示,流体运移、演化过程中有大量低温-低 盐度大气降水的混入,说明存在流体的沸腾作用。 此外,金厂河矿集区内多金属矿床的形态受断裂及 褶皱构造影响,构造控矿特征明显,表明初始成矿 流体沿区内构造从深部向上运移,至背斜轴面多层 张性裂隙叠加处压力突然释放,引发流体减压沸腾 (静水压力<流体的饱和压力时,流体上升、断裂张 开引发的沸腾),使得流体不混溶,部分气体逸出, 流体中 HCl、CO,以及 H,S 等酸性挥发组分流出导 致H<sup>+</sup>浓度降低、PH 值升高,流体中的成矿金属元 素浓度升高至过饱和状态结晶析出,最后矿质富 集、沉淀,形成多层厚大的金属矿体(Hemley et al., 1992; Benning et al., 1996)。成矿流体与碳酸盐岩 间的水-岩反应会引发含矿流体物、化条件(温度 下降、氧逸度升高和 PH 值变化等)的改变,最终使 得流体中的 Fe、Cu、Pb、Zn 等金属元素发生沉淀,形 成相应矿体(张德会, 1997; 黄诚等, 2013)。区内 多金属矿床属典型矽卡岩型矿床,围岩矽卡岩化、 硅化、碳酸盐化、大理岩化较为明显。高温 - 高盐 度初始岩浆热液受驱动力作用沿构造裂隙上升,经 过长距离运移,流体温度、盐度逐渐降低,与碳酸盐 岩发生水-岩反应,在不同成矿阶段形成不同矽卡岩 矿物。

流体氧化 - 还原环境的改变也是金厂河矿集 区矿床形成的主要机制之一。初始成矿流体携带 的金属元素呈稳定络合物形式向上运移,之后铁离 子在氧化环境中率先以氧化物形式沉淀,形成位于 深部的砂卡岩型磁铁矿体 (Berman and Brown, 1985)。磁铁矿结晶沉淀的过程消耗了成矿流体中 的氧,氧逸度降低后成矿热液体系便转变为还原环 境,SO,<sup>4-</sup>和SO,经热化学还原作用(TSR)生成  $S^{2-}$ ,成矿金属络合物此时也不再稳定, $Cu^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$ 和 $Zn^{2+}$ 脱离络合物载体与 $S^{2-}$ 结合成为硫化物 (Simmons and Christenson, 1994; Seward and Barnes, 1997; Wilkinson, 2001), 硫化物在中、上部 先后富集沉淀形成矽卡岩型 Cu-Pb-Zn 矿体。如金 厂河铅锌多金属矿床石英-硫化物阶段包裹体子矿 物中含有斑铜矿,便是铜铅锌矿体形成于还原环境 的最佳证明。当陆-陆碰撞造山运动进入晚期,随 着深部温度不断降低,熔融物质和流体供应减弱, 大气降水持续混入并占据主导地位(Chen et al., 2007),成矿流体演化成组分单一的水溶液,成矿离

子已经基本耗尽,仅有低温石英、方解石和少量黄 铁矿等形成。

### 5 成矿模式初探

翟裕生等(2011)提出,不同岩性岩层间的剥离 带、破碎带以及构造裂隙便于形成多层矽卡岩矿 体,控矿意义重大。金厂河矿集区赋矿围岩主要为 上寒武统核桃坪组二段大理岩化灰岩、钙质板岩、 大理岩、石榴子石矽卡岩、阳起石矽卡岩、黑柱石矽 卡岩等,矿体呈似层状、脉状或透镜状伴随地层褶 皱形态展布,地层和构造条件均利于成矿。区域上 广泛发育有辉绿岩脉(株),表明地块内地壳或岩石 圈曾发生闭式拉张(范蔚茗等,2003;毛景文等, 2005)。区内矽卡岩型 Pb-Zn 多金属矿床基本形成 于腾冲-保山地块碰撞的动力学背景之下,属于中 特提斯洋闭合过程中碰撞造山作用的响应。本文 研究认为与成矿作用有关的侵入岩体位于地下深 处,在综合区内构造演化、典型矿床地质特征,建立 了金厂河矿集区铁铜金铅锌多金属矿床成矿模式, 如图 11 所示。





Fig. 11 Metallogenic model for the Jinchanghe polymetallic iron-copper-gold-lead-zinc ore concentration district

## 6 结论

(1)金厂河矿集区各铅锌多金属矿床在成矿空间上具有明显分带规律,单个矿床在垂向上、平面上均呈有规律地分布,其分带标志除了矿床类型外,还表现在有用矿物组合及元素分带。由下往上、由中心向外均有 Fe→Cu-Fe→Cu-Pb-Zn→Au 矿种分带及"砂卡岩型→构造蚀变岩型→石英脉型"的矿床类型分带,成矿元素均从高温到中低温变化。

(2)金厂河矿集区代表性矿床金属硫化物硫同 位素变化范围较窄,具有较高的均一性,显示岩浆 硫与海水硫混合的特征。各代表性矿床中不同类 型的矿石中硫化物铅同位素比值十分稳定,显示正 常铅的特征。铅主要来源于地幔和下地壳的过渡 环境,具壳幔混合来源的特征。硫、铅同位素均反 映出成矿物质来源受到岩浆作用的影响。

(3) 区内砂卡岩型 Pb-Zn 多金属矿床基本形成 于腾冲-保山地块碰撞的动力学背景之下,属于中 特提斯洋闭合过程中碰撞造山作用的响应。通过 系统梳理成矿地质背景与流体演化过程,流体沸腾 作用、水-岩反应和氧化-还原环境的改变是区内 铅锌多金属矿床形成的主要机制。

致谢:野外地质调查工作得到云南黄金集团公 司金厂河矿业有限公司康国山副总经理、地测部付 升、王海等人的热心帮助和大力支持,在此表示衷 心的感谢!同时,衷心感谢审稿专家及编辑部老师 对本文提出的宝贵意见!

#### 注释:

- ①云南黄金矿业集团股份有限公司,2012. 云南省保山市金厂河铁 多金属矿田 2012 年物化探勘查报告[R].
- ②云南黄金矿业集团股份有限公司,2020.云南省隆阳区金厂河金 多金属矿普查报告(2020年)[R].
- ③云南黄金矿业集团股份有限公司,2011. 云南省保山市隆阳区金 厂锌多金属矿详查报告[R].

#### 参考文献(References):

- Berman R G, Brown T H, 1985. Heat capacity of minerals in the system Na<sub>2</sub> O-K<sub>2</sub> O-CaO-MgO-FeO-Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> O-CO<sub>2</sub>: Representation, estimation, and high temperature extrapolation[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 89(2-3): 168 - 183.
- Barnes H L, 1997. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. 3<sup>rd</sup> dn. Wiley, New York.

- Benning L G, Seward T M,1996. Hydrosulphide complexing of Au(I) in hydrothermal solutions from 150-400° C and 500-1500 bar [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 60(11): 1849 – 1871.
- Chen F K, Li X H, Wang X L, et al., 2007. Zircon age and Nd-Hf isotopic composition of the Yunnan Tethyan belt, southwestern China [J]. International Journal of Earth Sciences, 96(6): 1179 – 1194.
- Chen Y J, Chen H Y, Zaw K, et al. ,2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview [J]. Ore Geology Reviews,31(1-4): 139-169.
- Dong M, Dong G, Mo X, et al., 2013. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of granites in the Baoshan Block, Western Yunnan: Implications for Early Paleozoic evolution along the Gondwana margin[J]. Lithos, 179(5): 36-47.
- Deng J, Wang C M, Bagas L, et al., 2017a. Insights into ore genesis of the Jinding Zn-Pb deposit, Yunnan Province, China: Evidence from Zn and in-situ S isotopes[J]. Ore Geology Reviews, 90(11): 943 -957.
- Deng J, Wang Q, Li G, 2017b. Tectonic evolution, superimposed orogeny, and composite metallogenic system in China [J]. Gondwana Research, 50: 216-266.
- Deng J, Wang Q, 2016. Gold mineralization in China: Metallogenic provinces, deposit types and tectonic framework [J]. Gondwana Research, 36(8): 219-274.
- Hemley J J, Hunt J P,1992. Hydrothermal ore-forming processes in the light of studies in rock-buffered systems; II, Some general geologic applications[J]. Economic Geology, 87(1): 23 – 43.
- Holland H D, 1972. Granites, solutions, and base metal deposits [J]. Economic Geology, 67(3): 281 – 301.
- 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 Geology Reviews, 31(1-4): 48 -87.
- Hoefs J, 2009. Stable isotope geochemistry [ M ]. 6<sup>th</sup> ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Li G J, Wang Q F, Huang Y H, et al., 2016. Petrogenesis of middle Ordovician peraluminous granites in the Baoshan block: Implications for the early Paleozoic tectonic evolution along East Gondwana [J]. Lithos, 245(2): 76-92.
- Liu W, Mcphail D C, 2005. Thermodynamic properties of copper chloride complexes and copper transport in magmatic-hydrothermal solutions[J]. Chemical Geology, 221(1): 21-39.
- Liu S, Hu R Z, Gao S, et al., 2009. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and origin of Early Palaeozoic I-type granite from the Tengchong-Baoshan block, western Yunnan Province, SW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 36(2 – 3): 168 – 182.
- Metcalfe I, 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and paleogeographic evolution of eastern Tethys [J]. Journal of AsianEarth Sciences, 66: 1-33.
- Roedder E, 1971. Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado

[J]. Economic Geology, 66(1): 98 - 118.

- Seward T M, Barnes H L, 1997. Metal transport by hydrothermal ore fluids[M]. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons.
- Simmons S F, Christenson B W, 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system[J]. American Journal of Science, 294(3): 361 -400.
- Ulrich T, Gunther D, Heinrich C A, 2001. The Evolution of a Porphyry Cu-Au Deposit, Based on LA-ICP-MS Analysis of Fluid Inclusions: Bajo de la Alumbrera, Argentina[J]. Economic Geology, 97(8): 1889 – 1920.
- Wang B D, Wang L Q, Pan G T, et al., 2013. U-Pb zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nantinghe ophiolite in the Changning-Menglian suture zone and its geological implication [J]. Science Bulletin, 58(8): 920 - 930.
- Wilkinson J J, 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits [J]. Lithos, 55(1-4): 229 - 272.
- Xu R, Deng M G, Li W C, et al., 2021. Origin of the giant Luziyuan Zn-Pb-Fe(-Cu) distal skarn deposit, Baoshan block, SE Tibet: Constraints from Pb – Sr isotopes, calcite C-O isotopes, traceelements and Sm – Nd dating[J]. J. Asian Earth Sci, 205:1 -24.
- Xiao C H, Li G J, 2019. Geological, sulfur isotopic, and mineral trace element constraints on the genesis of the Xiyi Pb – Zn deposit, Baoshan Block, SW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 186(C), 1–16.
- Zartman R E, Doe B R, 1981. Plumbotectonics the model [J]. Tectonophysics, 175(1-2): 135 – 162.
- 鲍威,陶兴雄,罗发成,2020. 滇西保山核桃坪矿集区岩浆岩特征[J].西部资源(1):77-80.
- 陈衍景,隋颖慧, Pirajno F, 2003. CMF 模式的排他性依据和造山型 银矿实例:东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学[J]. 岩石学报, 19(3):551-568.
- 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.
- 曹俊, 陈军, 2017. 滇西保山地块卧牛寺组玄武岩的年代学、地球化 学与构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报(增刊),36:235.
- 陈福川,2018. 西南三江保山地块珑阳矿集区早白垩世矽卡岩矿床 成矿作用研究[D]. 北京:中国地质大学(北京).
- 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,1(4):355-364.
- 邓军, 王长明, 李龚健, 2012. 三江特提斯叠加成矿作用样式及过 程[J]. 岩石学报, 28(5): 1349-1361.
- 邓军,王长明,李文昌,等,2014. 三江特提斯复合造山与成矿作用 研究态势及启示[J]. 地学前缘,21(1):52-64.
- 邓军,王庆飞,李龚健,2016.复合造山和复合成矿系统:三江特提 斯例析[J]. 岩石学报,32(8):2225-2247.
- 董美玲,董国臣,莫宣学,等,2013. 滇西保山地块中-新生代岩浆 作用及其构造意义[J].岩石学报,29(11):3901-3913.
- 董美玲,2016. 滇西腾冲—保山地块岩浆作用研究及其构造意义 [D].北京:中国地质大学(北京).

- 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,杨绍文,2013. 金厂河铁铜铅锌多金属矿床地质 特征及成矿分带特征[J]. 地球(11):94-97.
- 范蔚茗, 王岳军, 郭锋, 等, 2003. 湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用 与岩石圈伸展[J]. 地学前缘, 10(3): 159-169.
- 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.
- 黄诚,张德会,2013,热液金矿成矿元素运移和沉淀机理研究综述 [J].地质科技情报,32(4):162-170.
- 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚, 1984. 特提斯 喜马拉雅构造域初步分 析[J]. 地质学报,1(1):1-17.
- 侯增谦,杨岳清,曲晓明,等,2004. 三江地区义敦岛弧造山带演化 和成矿系统[J].地质学报,78(1):109-120.
- 黄勇,郝家栩,白龙,等,2012. 滇西施甸地区晚泛非运动的地层学 和岩石学响应[J]. 地质通报,31(Z1):306-313.
- 黄华,张长青,周云满,等,2014a. 云南金厂河铁铜铅锌多金属矿 床砂卡岩矿物学特征及蚀变分带[J]. 岩石矿物学杂志,33 (1):127-148.
- 黄华,张长青,周云满,等,2014b. 云南保山金厂河铁铜铅锌多金 属矿床 Rb-Sr 等时线测年及其地质意义[J]. 矿床地质,33 (1):123-136.
- 韩艳伟, 2010. 滇西保山核桃坪铅锌矿 V1 矿体成矿流体演化的历 史分析[D]. 昆明:昆明理工大学.
- 胡安林, 王基元, 张卫文, 等, 2020. 保山市陡崖铜多金属矿成矿模 式及找矿潜力[J]. 云南地质, 39(2): 186-192.
- 李方兰,刘学龙,周云满,等,2021.云南金厂河铅锌多金属矿床石 榴子石 U-Pb 年龄(502~508Ma)及其对成矿时代的限定[J/ OL].中国地质:1-3.
- 李兴振,刘文均,王义昭,等,1999.西南三江地区特提斯构造演化 与成矿(总论)[M].北京:地质出版社.
- 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, 20(4): 333-346.
- 李文昌, 余海军, 尹光候, 2013. 西南"三江"格咱岛弧斑岩成矿系 统[J]. 岩石学报, 29(4): 1129-1144.
- 李振焕,刘学龙,陈建航,等,2019. 云南保山金厂河铁铜铅锌多金 属矿床 S-Pb 同位素特征[J]. 地质力学学报,25(S1):115 -118.
- 李振焕,李文昌,刘学龙,等,2020. 滇西保山地块金厂河铁铜铅锌 多金属矿床硫铅同位素特征与成矿物质来源示踪[J]. 地质通 报,39(4):552-562.
- 刘洪滔,莫向云,荣惠锋,2013. 保山成矿带铅锌矿地球化学特征 及找矿方向[J]. 物探与化探,37(5):787-793.
- 刘增乾,李兴振,叶庆同,1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿 产分布规律[M]. 北京:地质出版社.
- 罗建宁,陈成生,郑来林,等,1991."三江"地区主要沉积地质事 件及其与邻区的对比[J].青藏高原地质文集:195-202.
- 罗亮,安显银,吴年文,等,2014,班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连 新元古代-中生代沉积盆地演化[J].地球科学(中国地质大学 学报),39(8):1169-1184.

罗应, 卢映祥, 刘学龙, 等, 2020. 滇西保山地块黑牛凹金矿区辉绿

玢岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 黄金科学 技术, 28(1):1-11.

- 毛景文,李晓峰,李厚民,等,2005.中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J].地质学报,79(3):342-372.
- 莫宣学, 潘桂棠, 2006. 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, 13(6): 43 - 51.
- 陶兴雄,鲍威,罗发成,2020. 滇西保山黑牛凹金矿矿床特征及找矿标志[J].西部资源,51(1):38-41.
- 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): 1760-1772.
- 王舫, 刘福来, 刘平华, 等, 2014. 澜沧江南段临沧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. 岩石学报, 30(10): 3034-3050.
- 王晓林,李维科,黄亮,等,2018. 滇西龙陵地区三叠纪蚌东花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报,37(11);2701-2708.
- 王帅帅,2019. 滇西芦子园铁铜铅锌多金属矿床矿质和成矿流体来 源研究[D]. 昆明:昆明理工大学.
- 王基元,杨春海,符俊,等,2021. 滇西金厂河金铜多金属矿集区成 矿模式与综合找矿模型[J].地质与勘探,57(2):254-268.
- 吴开兴,胡瑞忠,毕献武,等,2002. 矿石铅同位素示踪成矿物质来 源综述[J]. 地质地球化学(3):73-81.
- 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,30(2):177 -186.
- 肖龙,徐义刚,梅厚钧,等,2003. 云南保山卧牛寺组玄武岩成因: 地幔柱活动的产物[J]. 岩石矿物学杂志,22(1):20-28.
- 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.
- 邢晓婉,2016. 滇西南早古生代构造属性:岩浆与沉积作用限定 [D]. 广州:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所).

- 杨飞, 普米仓, 肖亚旭, 2019. 云南保山核桃坪铅锌矿成矿条件找 矿思路探讨[J]. 冶金管理,4 (7): 12-13+15.
- 杨怀,2017. 云南保山黑牛凹金矿地质特征及成因研究[D].北京: 中国地质大学(北京).
- 杨学俊, 贾小川, 熊昌利, 等, 2012. 滇西高黎贡山南段公养河群变 质基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地 质通报, 31(Z1): 264 – 276.
- 杨玉龙, 叶霖, 程增涛, 等, 2012. 保山镇康地块砂卡岩型铅锌矿床 成因初探[J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 554-564.
- 翟裕生,王建平,2011. 矿床学研究的历史观[J]. 地质学报,85(5):603-611.
- 赵成峰, 胡光道, 2008. 云南保山黄家地石英脉型金矿床成因[J]. 云南地质, 27(4): 442-447.
- 张德会,1997. 成矿流体中金的沉淀机理研究述评[J]. 矿物岩石, 17(4):123-131.
- 张恩才,陈新敏,李志宏,等,2010. 云南保山珑阳矿集区矿床分带 及其找矿意义[J]. 云南地质,29(2):141-145.
- 张玉泉,谢应雯,成忠礼,1990. 三江地区含锡花岗 Rb-Sr 等时线年龄[J].岩石学报,6(1):75-81.
- 朱炳泉,常向阳,邱华宁,等,1998. 地球化学急变带的元古宙基底 特征及其与超大型矿床产出的关系[J]. 中国科学(D辑:地球 科学),28(S2):63-70.
- 郑景旭,2017. 云南三江地区核桃坪、金厂河矿床成矿流体研究 [D].北京:中国地质大学(北京).
- 钟维敷,2014. 滇西多金属矿成矿背景及成矿规律[D]. 武汉:中国 地质大学(武汉).
- 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.
- 郑永飞,陈江峰,2000. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:科学出版 社.1-247.

责任编辑:黄春梅