

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

陈永清¹, 黄静宁¹, 卢映祥², 夏庆霖³, 孙明祥², 李建荣²

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 云南省地质调查局, 云南昆明 650051

3. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 跨越中缅边境的金腊铅—锌—银多金属矿田包括南腊和金厂两处铅锌银矿床, 大地构造上处于保山—掸泰地块东缘, 勐统一耿马—西盟元古宙—古生代被动大陆边缘活动带南段。通过对容矿围岩、与矿化有关的花岗岩和矿石元素地球化学以及矿石硫、铅同位素和流体包裹体的研究, 结论如下: (1) 与同类岩石相比, 与矿化有关的花岗岩普遍富集 Pb、Zn、Cu、Au、Sn、W 等成矿元素, 其中钾长花岗岩斑岩与 Pb-Zn-Ag 矿化关系最密切。(2) 铅同位素表明, 矽卡岩型致密块状矿石铅同位素比值 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) 皆低于热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩型矿石, 意味着形成于岩体接触带的矽卡岩型矿石相对形成于远离岩体的热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩型矿石含有更低的放射性成因铅。(3) 铅—锌—银矿化主要经历了两个成矿期: 矽卡岩化成矿期和中低温热液成矿期, 前者主要形成铅—锌—铜(金)矿化, 后者主要形成铅—锌—银矿化; 中低温热液成矿期又可划分为两个成矿阶段: 中温成矿阶段(200~290 °C)和低温成矿阶段(140~200 °C), 前者主要形成交代充填型硅化角砾岩矿体, 后者主要形成层间破碎带充填型硅化矿体。(4) 金腊铅锌矿床、保山—镇康地块某些铅锌矿床和昌宁—孟连火山岩带的铅锌矿床, 虽然产于不同的地质构造单元, 但矿石铅同位素组成却具有类似的特征, 而且矿化皆与喜马拉雅期侵位的花岗岩密切相关。这表明: 虽然上述矿床产出于不同的地质构造单元, 但成矿皆与喜马拉雅期构造岩浆活动具有某种内在联系。

关键词: 铅—锌—银多金属矿化; 地球化学; 硫铅同位素; 流体包裹体; 中缅邻接区。

中图分类号: P618.41; P597

文章编号: 1000-2383(2009)04-0585-10

收稿日期: 2008-07-28

Geochemistry of Elements, Sulphur-Lead Isotopes and Fluid Inclusions from Jinla Pb-Zn-Ag Poly-Metallic Ore Field at the Joint Area across China and Myanmar Border

CHEN Yong-qing¹, HUANG Jing-ning¹, LU Ying-xiang², XIA Qing-lin³, SUN Ming-xiang², LI Jian-rong²

1. Faculty of Earth Sciences & Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Yunnan Geological Survey, Kunming 650051, China

3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract Jinla Pb-Zn-Ag poly-metallic ore field across China and Myanmar, located at the south segment of the Mengtong-Gengma-Ximeng passive continental margin of Proterozoic era-Palaeozoic era, the eastern margin of the Baoshan-Shantai Massif, includes the Nanla and the Jinchang Pb-Zn-Ag deposits. According to the studies on both the element geochemistry of the host rocks, the granites, and the ore deposits and the sulphur-lead isotopes as well as fluid inclusion from the ore deposits in Jinchang Pb-Zn-Ag deposits. The conclusions are drawn as follows. (1) The granites in this ore field are richer in Pb, Zn, Cu, Au, Sn, and W than in other granites, and the K-feldspar granite porphyry has a closer relationship with the mineralization. (2) The Pb isotope ratios ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) from the massive skarn Pb-Zn-Cu ores are lower than those

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863”项目(No. 2006AA06Z113); 国家自然科学基金项目(No. 40772197); 国家科技支撑计划项目(No. 2006BA01A03)。

作者简介: 陈永清(1960-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事矿产资源定量勘查与评价研究及教学工作。E-mail: yqchen@cugb.edu.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

from the brecciated Pb-Zn-Ag ores with quartzification and the stratiform Pb-Zn-Ag ores with chalcodonization, which may indicate that the former contains radioactive Pb less than the latter. (3) The Pb-Zn-Ag mineralizations may be divided into two ore-forming epochs: the skarn ore-forming epoch and the hydrothermal ore-forming epoch; the former is associated with Pb-Zn-Cu mineralization, the latter with Pb-Zn-Ag mineralization. The hydrothermal ore-forming epoch may be subdivided into two hydrothermal ore-forming stages: the mesothermal ore-forming stage (200—290 ℃) at which the brecciated ores were deposited, and the epithermal ore-forming stage (140—200 ℃) at which the stratiform ores were formed. (4) The Jinla Pb-Zn-Ag deposits not only have the same features of Pb isotope ratios as some Pb-Zn deposits formed at the Baoshan-Zhengkang terrain and as some Pb-Zn deposits formed at the Changning-Menglian volcanic belt but also these Pb-Zn deposits are associated with the granites emplaced at Himalayan orogenic episode, which may indicate that although forming different geological tectonic terrains, these Pb-Zn deposits have intrinsic connection with the Himalayan tectonism.

Key words: Pb-Zn-Ag polymetallic mineralization; geochemistry; S-Pb isotopes; fluid inclusion; the joint area across China and Myanmar border.

金腊铅—锌—银多金属矿田跨越中国云南省西盟、沧源佤族自治县与缅甸第二特区(佤邦) 毗邻边境区域, 大地构造上处于保山—掸泰地块东缘, 勐统一耿马—西盟元古宙—古生代被动大陆边缘活动带南段(王义昭等, 2000; 李家盛, 2002), 如图 1 所示. 其东侧为发育于兰坪思茅地块西侧的昌宁—孟

连褶皱带, 产有老厂等大型铅锌矿床(Yang *et al.*, 1999). 在保山—掸泰地块的缅甸一侧有著名的包德温 和臭水铅锌矿床(杨云保, 2002). 在中国保山—镇康 地块近年来发现了核桃坪和芦子园等大型铅锌矿床, 被认为是与中酸性隐伏岩体有关的沉积—热液 改造型铅锌矿床(陈永清等, 2005; 夏庆霖等, 2005;

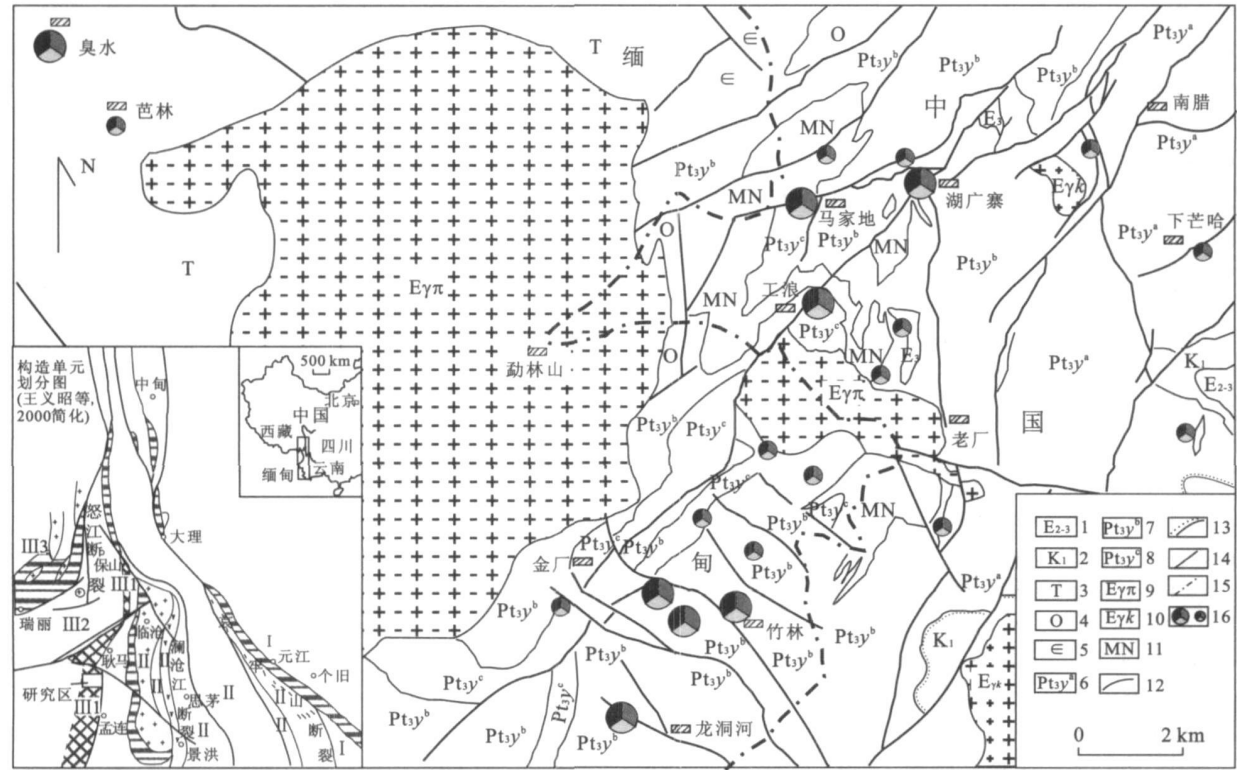


图 1 中缅毗邻区金(金厂) 腊(南腊) 铅锌银矿田地质矿产简图

Fig. 1 Simplified map showing geology and Pb-Zn-Ag mineralization of Jinla ore field across China and Myanmar border
1. 古新统一始新统砂砾岩; 2. 白垩系砂岩; 3. 三叠系灰岩; 4. 奥陶系石英砂岩; 5. 寒武系千枚岩和板岩; 6. 新元古界千枚岩和板岩; 7. 新元古界千枚岩和片岩; 8. 新元古界大理岩化白云岩; 9. 二长花岗岩; 10. 钾长花岗岩; 11. 变辉绿岩; 12. 地层界线; 13. 地层不整合界线; 14. 断层; 15. 国界; 16. 铅锌银矿床(矿点); I. 扬子板块亚构造域; II. 东特提斯亚构造域; III. 西藏—缅甸亚构造域; III1. 勐统一西盟元古宙—古生代被动边缘活动带; III2. 保山—掸泰地块; III3. 腾冲—瑞丽地块

董文伟, 2007; 董文伟和陈少玲, 2007), 但在矿区迄今没有发现中酸性岩体。因此, 从地球化学的角度, 研究金腊铅锌银多金属矿田主要矿床的成矿特征、控矿因素以及矿床成因, 不仅对认识研究区矿床成矿规律与找矿具有重要意义, 而且对认识我国保山—镇康地块上同类矿床的成矿规律与矿产勘查亦具有重要参考价值。

位于金腊铅—锌—银多金属矿田缅甸一侧的金厂铅锌矿床具有悠久的采矿历史, 矿区采矿遗迹依稀可见。自 20 世纪 90 年代初以来, 许多矿业勘查公司到金厂矿区开展了不同程度的找矿和开发工作。1997 年初, 原中国西南有色地质勘查局物探队应缅甸瓦邦政府矿业部的邀请, 前往金厂矿区开展地质、物化探综合找矿工作(李家盛, 2002)。自 2000 年以来, 云南省地质调查院第五地质调查所在国土资源大调查项目资助下, 在中国一侧的南腊地区开展铅锌矿产调查评价工作。在上述成果的基础上, 2003—2007 年, 云南地矿公司思茅分公司与缅甸瓦邦政府矿业部合作勘探开发金腊矿田的铅锌矿产资源, 但在本区系统地开展专题研究工作尚属首次。

区内岩浆活动强烈, 形成以斑状—似斑状结构为特色的花岗岩类, 主要岩石类型为二长花岗斑岩(代表性岩体分别为勐林山岩体和老厂岩体)和钾长花岗斑岩(代表性岩体为南腊岩体)。二长花岗岩呈岩基(勐林山岩体)或岩枝(老厂岩体), 而钾长花岗斑岩则为岩株(南腊岩体)和岩脉产出, 有些脉岩的边部伴有铅锌矿化。金厂、臭水和南腊等铅锌多金属矿床(点)具岩(体)控—裂(NE 向断裂)控双重控矿的特征, 其空间上既有围绕着花岗岩体呈环状分布, 又有沿 NE 向断裂呈带状分布的特点, 平均矿化宽度约 4~8 km, 长 20 km, 深部花岗岩与大理岩接触带可能存在隐伏的岩浆热液型和矽卡岩型矿床。容矿围岩主要是新元古界大理岩化白云岩, 新元古界千枚岩、碳质板岩和片岩(图 1)。

1 矿床地质特征

中缅金腊铅锌银多金属矿田由金厂(缅甸)和南腊两个矿床组成。

南腊铅锌银矿床地处勐林山花岗岩体东侧, 矿化沿 NE 向展布, 长约 8 km, 宽约 7.5 km, 围岩蚀变主要是硅化、角岩—矽卡岩化、黄铁矿化, 蚀变强烈。矿化类型多样, 体现了多阶段矿化的特点。已知矿化

类型有 3 大类: (1) 热液充填型透镜状富银铅锌矿化(马家地、湖广寨), 充填于上元古界允沟组白云质大理岩裂隙、断裂中的矿体, 具有矿体小、品位高、变化大的特点; 沿大理岩与板岩、片岩接触带产出的矿体, 具有延伸较稳定、矿体薄、矿化不均等特征。(2) 矽卡岩型银铅锌多金属矿化(南腊矿段 1 号和 2 号矿体), 产于花岗岩外接触带角岩—矽卡岩内, 矿体变化大。(3) 构造破碎带型铅锌银矿体(南腊矿段 3 号矿体、芒哈矿段 1 号矿体), 赋存于 NW 向构造破碎带中, 具有矿体厚大稳定的特点。矿石结构为中—细粒粒状结构, 块状、细脉状、浸染状构造, 矿石矿物主要为方铅矿和闪锌矿等, 脉石矿物主要为石英和方解石等。

缅甸金厂铅锌银矿床地处勐林山花岗岩体南东侧, 矿化沿 NE 向展布, 长约 10 km, 宽 2~4 km。矿体主要赋存在上元古界硅质白云岩、白云质大理岩中, 呈透镜状、脉状、似层状, 产于断裂破碎带及层间破碎带中或旁侧, 走向长 100~550 m, 延深数百米, 厚 1~20 m, 形态、规模严格受地层、构造控制。围岩蚀变主要是硅化。矿石具块状、浸染状、脉状及角砾状, 矿物成分简单, 主要以方铅矿、闪锌矿和石英为主, 铅锌综合品位一般大于 15%, 硫化物矿石含银 200~1500 g/t, 氧化矿含银 50~200 g/t。成矿作用以中低温热液充填交代为主。有 3 种主要矿化类型, 以破碎带型和石英脉型规模较大: (1) 热液交代充填型矿化(竹林矿段), 富的铅锌矿围绕石英脉呈角砾状、团块状和囊状充填于硅化破碎带中, 其特点是中低品位, 厚度和规模较大, 矿化有一定的稳定性, 矿物成分复杂, 除方铅矿和闪锌矿外, 还有少量黄铁矿、黄铜矿和孔雀石。矿化受 NE、NW 向硅化白云岩断裂破碎带控制, 矿体主要沿走向 NW 320°, 倾角 70°的一组裂隙呈雁行出现, 具有尖灭再现特征, 当与 NE 或 EW 向断裂相交时, 矿体变富变厚。(2) 层间破碎带型矿化(竹林矿段), 铅锌矿体主要以似层状、透镜状和扁豆状充填于白云质大理岩、硅化白云岩层间破碎带中, 其特点是规模小、矿石品位富。矿石以块状、致密块状的氧化矿为主, 矿石成分简单, 主要为方铅矿、闪锌矿和少量黄铁矿。(3) 矽卡岩型矿化(龙洞河矿段), 铅锌矿主要产于白云岩与板岩、千枚岩或变基性岩的断裂接触带的鞍部, 特点是规模较大, 矿体呈似层状、鞍状、透镜状; 矿石以块状、浸染状构造为主, 成分较复杂, 主要为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和少量黄铁矿。

2 元素地球化学与成矿潜力分析

2.1 容矿岩元素地球化学及其成矿潜力分析

矿体主要赋存在新元古界大理岩化白云岩、千枚岩、碳质板岩和华力西期变辉绿岩中,或上述岩石的接触带.从上述岩石中采集样品 49 件,在湖北省岩矿测试中心定量测定 Cu、Zn、Co、Ni、V (ICP-AES); Pb、Cr (XRE); W、Mo (OP); Au (C-OES); Ag、B、Sn (OES); As、Sb、Bi (AF); F (离子电极) 等 17 种元素(表 1).相对中国东部同类岩石(鄢明才和迟清华,1997),本区大理岩化白云岩显著富集($k > 3.0$): Cu(9.66)→Sb(6.73)→Zn(5.61)→Cr(4.54)→Pb(4.12)→Ni(4.08)→Cu(3.83),富集($1.2 < k < 3.00$): Ag(2.60)→Au(2.28)→W(1.77)→Sn(1.30);此外,还相对富集基性、超基性组分,表明白云岩形成于基性、超基性火山喷发相关的环境.千枚岩显著富集 Ni(4.08)→Cr(3.76),富集 Ag(2.67)→V(2.40)→Cu(2.34)→Co(2.25)→Zn(2.05)→Mo(1.89)→Au(1.67)→Sb(1.57)→As(1.42)→Pb(1.29)→B(1.26);碳质板岩显著富集 As(15.47)→Sb(3.68)→Co(3.37)→Ni(3.04),富集 B(2.76)→Cu(2.42)→Cr(2.01)→Zn(1.81)→Mo(1.72)→V(1.63)→W(1.63)→Sb(1.55)→Pb(1.32)→F(1.26);变辉绿岩显著富集 Bi(8.11)→Ag(6.93)→B(3.87)→Pb(3.46)→As(3.15)→Cr(3.01),富集 Sb(2.20)→Sn(1.98)→W(1.89)→Au(1.74)→Cu(1.72)→Mo(1.70)→Zn(1.58)→V(1.25).

上述特征表明:尽管各类容矿岩石富集元素的种类有所差异,但都一致富集 Pb、Zn、Ag、Cu 和 Au 等成矿元素,显示矿源层的特点,为进一步富集成矿提供了物质基础.

2.2 花岗岩元素地球化学及其成矿潜力分析

从矿田老厂、勐林山和南腊花岗岩体中采集样品 44 件,在湖北省岩矿测试中心定量测定 Cu、Zn、Co、Ni、V (ICP-AES); Pb、Cr、SiO₂、K₂O、Na₂O (XRE); W、Mo (OP); Au (C-OES); Ag、B、Sn (OES); As、Sb、Bi (AF); F (离子选择电极) 等 20 种元素(表 2).相对中国花岗岩(鄢明才和迟清华,1997),老厂似斑状角闪二长花岗岩主量组分 K₂O(1.11)略有富集,微量元素浓集序列为: Sb(5.69)→F(3)→Mo(2.83)→As(2.67)→W(2.56)→Pb(1.59)→Zn(1.15),其中 Sb 显著富集.勐林山似斑

状黑云母二长花岗岩仅富集微量元素,其浓集序列为: Sb(3.00)→Pb(1.89)→As(1.83)→B(1.55)→Bi(1.33)→Zn(1.21).南腊钾长花岗斑岩主量组分 K₂O(1.34)相对富集,微量元素浓集序列为: As(49.61)→W(42.84)→Cu(40.00)→Bi(26.13)→Sb(7.85)→Ag(4.50)→B(3.14)→Sn(3.00)→Pb(1.89),其中 As、W、Cu、Bi、Sb、B 和 Sn 等元素强烈富集.

上述特征表明:钾长花岗斑岩在主量组分上,以富 K₂O 为特征;在微量元素上无论富集元素的强度和种类皆远大于二长花岗岩类,加之它空间上通常伴有 Pb-Zn-Ag 矿化,可以推断该类岩体是最有成矿远景的岩体.事实上,上述三类岩体是同一构造岩浆作用过程不同演化阶段分异结晶的产物,其中钾长花岗斑岩形成于后期阶段相对快速冷凝结晶的浅成环境(陈永清等,2009).

2.3 矿床元素地球化学

选择金厂铅锌矿床的竹林矿段(交代—充填白云岩型矿化)、龙洞河矿段(矽卡岩型矿化)和南腊铅锌银矿床南腊矿段(交代—充填白云岩型矿化和矽卡岩型矿化).此外,还选择臭水铅锌矿田的芭林铜金矿床,在湖北省岩矿测试中心定量测定 Cu、Zn、Co、Ni、V (ICP-AES); Pb、Cr (XRE); W、Mo (OP); Au (C-OES); Ag、B、Sn (OES); As、Sb、Bi (AF); F (离子选择电极) 等 17 种元素,以其容矿围岩(白云岩+千枚岩+碳质板岩,见表 1)相应元素的平均值为背景,计算它们的富集系数(表 3).其结果表明: (1)对金厂矿床,无论是交代(充填)白云岩型铅锌矿体,还是矽卡岩型铅锌矿体皆以 Zn-Pb-Sb($k > 1000$)矿化为特征,所不同的是前者缺乏伴生元素,显著富集的元素($100 > k > 10$)有 Cu-Bi-Au;而后者发育伴生元素 Sn($1000 > k > 100$),显著富集的元素为 Cu-Bi, Au 降为一般富集($10 > k > 2$)元素. (2)对南腊铅锌矿床,交代—充填白云岩型铅锌矿体和矽卡岩型铅锌矿体皆以 Bi-Pb 矿化为特征,其区别是前者伴生元素为 Zn-Sn,显著富集的元素为 W-Au-Cu;后者伴生元素为 Cu-Zn,显著富集的元素为 As-Sb-Au. (3)对于芭林矽卡岩型矿床,以 Au-Cu 矿化为特征,伴生元素为 Bi-Sn,显著富集的元素为 Zn-Sb.总之,靠近勐林山岩体的芭林矿床,以 Au-Cu 矿化为特征,远离勐林山岩体的金厂和南腊矿床则以 Pb-Zn 矿化为特征,具成矿元素水平分带矿化的现象.

表 1 金腊 Pb-Zn-Ag 多金属矿田容矿岩微量元素组成

Table 1 Average contents of trace elements from the host rocks of the Jinla Pb-Zn-Ag ore field across China and Myanmar border

岩石名称(n)	统计参数	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	W	Sn	Bi	Mo	As	Sb	F	B	Cr	Ni	Co	V
白云岩类(13)	<i>x</i>	0.82	10.72	25.54	56.05	0.13	0.46	0.65	0.03	0.23	1.97	1.48	196.00	2.07	21.35	14.67	10.63	8.67
	<i>S</i>	0.71	6.95	9.92	29.03	0.16	0.09	0.05	0.00	0.15	2.13	0.90	106.00	3.31	20.09	3.59	1.01	4.24
	<i>k</i> ₁	1.74	2.61	3.19	3.11	2.32	1.70	1.30	0.43	0.40	0.62	6.17	0.71	0.16	2.85	3.06	7.09	0.67
千枚岩类(12)	<i>x</i>	1.55	63.23	23.21	190.00	0.12	1.05	2.30	0.32	0.89	11.06	0.74	504.00	84.21	256.00	131.00	35.97	264.00
	<i>S</i>	0.57	30.54	10.76	23.98	0.07	0.22	2.12	0.20	0.36	7.21	0.51	116.00	61.87	234.00	139.00	20.00	47.31
	<i>k</i> ₂	1.67	2.34	1.29	2.05	2.67	0.48	0.72	1.14	1.89	1.42	1.57	0.74	1.26	3.76	4.08	2.25	2.40
碳质板岩(15)	<i>x</i>	1.14	55.77	21.09	137.70	0.13	2.61	5.12	0.29	1.19	35.21	1.03	731.00	182.00	100.00	45.59	22.26	159.27
	<i>S</i>	0.36	18.64	10.81	42.44	0.04	2.81	0.71	0.14	0.90	25.11	1.32	131.00	90.44	20.77	8.11	8.26	28.22
	<i>k</i> ₃	0.95	2.23	1.17	1.64	2.28	1.54	1.71	0.97	2.33	4.09	1.98	1.11	2.28	1.45	1.57	1.78	1.56
白云岩类+千枚岩类+碳质板岩(40)	<i>x</i>	1.161	43.367	23.17	126.967	0.125	1.444	2.659	0.208	0.698	54.439	1.087	489.20	94.223	117.61	61.036	22.591	141.693
	<i>S</i>	0.615	30.634	10.412	63.4497	0.099	1.937	2.297	0.188	0.743	133.19	1.022	254.20	99.246	159.73	88.20	15.507	107.378
	<i>k</i> ₄	1.22	98.20	45.04	158.00	0.52	1.06	1.98	1.46	0.73	9.46	0.44	476.00	38.66	346.00	80.36	38.54	288.00
辉绿岩(9)	<i>x</i>	0.94	26.22	22.39	26.19	0.51	0.17	0.81	2.10	0.31	5.05	0.31	135.00	92.65	184.00	25.41	8.32	87.67
	<i>S</i>	1.31	1.72	3.46	1.58	6.93	1.89	1.98	8.11	1.70	3.15	2.20	1.01	3.87	2.99	1.13	0.94	1.25
	<i>k</i> ₄																	

注: Au, 10⁻⁹; 其余, 10⁻⁶; *n* 为样品数; *x*, 均值; *S*, 均方差; *k*, 富集系数 = 研究区岩石元素平均含量/中国同类岩石元素平均含量(黎明才和迟清华, 1997)。

表 2 金腊花岗岩化学组成

Table 2 Average contents of some major and trace elements from the Jinla granites of the Jinla Pb-Zn-Ag ore field across China and Myanmar border

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Mo	As	Sb	F	B	Sn	Bi	Cr	Ni	Co	V	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
老厂岩体(17)	<i>x</i>	0.40	0.04	6.24	41.45	45.87	2.56	1.98	3.20	0.74	1272.00	6.04	2.14	0.13	6.58	7.04	5.20	30.02	69.55	3.74
	<i>S</i>	0.16	0.02	2.66	5.83	5.57	2.76	1.55	2.62	0.58	453.00	1.19	0.49	0.04	1.82	1.87	0.76	3.82	0.81	0.26
	<i>k</i> ₁	0.83	0.67	1.13	1.59	1.15	2.56	2.83	2.67	5.69	2.62	1.10	0.97	0.54	1.00	1.35	1.73	1.30	0.96	1.05
勐林山岩体(15)	<i>x</i>	0.35	0.03	3.98	49.11	48.38	0.51	0.40	2.19	0.39	1081.00	8.55	1.71	0.32	8.73	5.84	5.25	32.99	69.59	3.36
	<i>S</i>	0.05	0.01	0.55	4.09	9.02	0.31	0.14	1.10	0.20	64.00	1.53	0.24	0.35	1.26	0.88	0.63	1.16	0.46	0.23
	<i>k</i> ₂	0.73	0.50	0.72	1.89	1.21	0.51	0.57	1.83	3.00	2.23	1.55	0.78	1.33	1.32	1.12	1.75	1.43	0.96	0.94
南腊岩体(12)	<i>x</i>	0.65	0.27	214.45	36.80	23.85	42.84	3.38	59.53	1.02	2231.00	17.29	6.60	6.27	8.03	4.89	6.13	44.05	70.25	0.44
	<i>S</i>	0.19	0.21	45.05	19.97	7.02	14.24	2.10	31.74	0.87	484.00	4.72	2.36	4.38	1.58	0.83	2.89	4.86	1.44	0.57
	<i>k</i> ₃	1.35	4.50	40.00	1.42	0.60	42.84	4.83	49.61	7.85	4.60	3.14	3.00	26.13	1.22	0.94	2.04	1.92	0.97	0.12

注: K₂O, Na₂O, SiO₂, 单位%; Au, 10⁻⁹; 其余, 10⁻⁶; *x*, 均值; *S*, 均方差; *k*, 富集系数 = 研究区花岗岩元素平均含量/中国同类岩石元素平均含量(黎明才和迟清华, 1997)。

表 3 金腊 Pb-Zn-Ag 多金属矿田矿石组分

Table 3 Average contents of trace elements from the ores of of the Jinla Pb-Zn-Ag ore field across China and Myanmar border

芭林矽卡岩型			金厂交代(充填)白云岩型				金厂矽卡岩型		南腊交代(充填)白云岩型		南腊矽卡岩型	
矿床名称	Cu-Zn-Au 矿床(5)		Pb-Zn 矿床 竹林矿段(18)				Pb-Zn 矿床 龙洞河矿段(15)		Pb-Zn 矿体(6)		Pb-Zn-Cu 矿体	
取样位置	PD01 平硐(5)		竹林 PD02 平硐(11)		竹林 ZK501 矿心(7)		PD26 平硐(15)		南腊 ZK1501 矿心(6)		南腊 PD01 平硐(4)	
元素	x	k	x	k	x	k	x	k	x	k	x	k
Au	5 095	4 392	24.58	21.19	6.71	5.79	10.10	8.70	50.76	43.76	21.14	18.23
Cu	153 760	3 546	3 294	76	1 037	23.92	3 967	91	792	18.27	12 314	284
Pb	121	5.20	197 535	8 525	119 910	5 175	134 604	5 809	74 072	3 197	41 745	1 802
Zn	9 486	75	276 298	2 176	214 560	1 690	238 405	1 878	81 330	641	28 667	226
Ag	145	1.16	487.31	3.90	242	1.93	359	2.87	206.88	1.66	190	1.52
W	8.35	5.79	2.28	1.58	2.24	1.55	1.15	0.8	83.61	57.90	10.51	7.28
Sn	305	115	7.54	2.84	1.29	0.48	312	117	406	153	9.25	3.48
Bi	38	185	7.25	34.84	9.48	45.56	13.18	63.30	1 114	5 350	1 526	7 332
Mo	1.35	1.94	3.02	4.32	0.54	0.78	5.79	8.31	0.74	1.07	1.07	1.53
As	95.89	1.76	530	9.74	118	2.17	206	3.79	51.98	0.95	2 578	47.35
Sb	17.56	16.15	2 209	2 032	621	571	2 606	2 397	5.32	4.89	38.35	35.28
F	436	0.89	3 235	6.61	477	0.98	390.30	0.80	1 184	2.42	503	1.03
B	1.96	0.02	2.90	0.03	40.54	0.43	20.12	0.21	3.98	0.04	16.31	0.17
Cr	33.62	0.29	18.24	0.16	154	1.31	51.95	0.44	38.27	0.33	28.90	0.25
Ni	207	3.39	20.64	0.34	88.75	1.45	28.98	0.47	34.54	0.57	34.21	0.56
Co	139	6.14	25.34	1.12	22.96	1.02	17.64	0.78	25.42	1.13	34.75	1.54
V	63.62	0.45	9.49	0.07	56.68	0.40	58.04	0.41	76.44	0.54	64.07	0.45

注: Au、Ag, 10⁻⁹; 其余元素, 10⁻⁶; x、k 意义同表 1.

3 硫铅同位素地球化学

3.1 硫同位素地球化学

硫是 Cu、Pb、Zn 等亲硫元素沉淀形成硫化物矿床的主要矿化剂, 硫同位素组成是推断成矿物质来源和成矿过程的主要依据之一. 在竹林矿段(交代—充填白云岩型矿化)、龙洞河矿段(矽卡岩型矿化)和南腊铅锌银矿床南腊矿段(交代(充填)白云岩型矿化和矽卡岩型矿化)共采集 12 件矿石样品, 从中分别挑选出闪锌矿样品 12 件, 方铅矿样品 12 件, 在国土资源部同位素实验室进行硫同位素分析. 分析结果(表 4)表明: (1) $\delta^4\text{S}$ 在上述矿石中的总体分布范围为 $-1.9\text{‰} \sim +5.3\text{‰}$, 与产于东邻昌宁—孟连海西裂谷型火山岩铅锌成矿带澜沧老厂火山岩型铅锌矿床矿石硫同位素分布接近($-1.7\text{‰} \sim +5.2\text{‰}$; 叶庆同等, 1992), 与我国岩浆活动有关的铅锌矿床的硫同位素组成一致($-5.0\text{‰} \sim +5.0\text{‰}$; 陈好寿等, 1994). (2) $\delta^4\text{S}$ 在方铅矿中的分布($-1.9\text{‰} \sim +2.3\text{‰}$)与闪锌矿($+1.3\text{‰} \sim +5.3\text{‰}$)存在一定差异, 前者更接近于陨硫石的分布, 后者则相对富集 $\delta^4\text{S}$, 表明共生硫化物(方铅矿与闪锌矿)之间的硫

同位素尚未完全达到平衡, 也可能表明它们是不同的成矿阶段的产物. 在澜沧老厂火山岩型铅锌矿床矿石硫同位素亦出现 $\delta^4\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^4\text{S}_{\text{方铅矿}}$ 的类似现象(叶庆同等, 1992). (3) $\delta^4\text{S}$ 在不同类型矿石的闪锌矿中分布亦存在微小差异, 矽卡岩型矿石闪锌矿($+1.2\text{‰} \sim +1.6\text{‰}$) < 热液充填型角砾状矿石($+2.0\text{‰} \sim +2.4\text{‰}$) < 层状(似层状)白云岩型矿石($+3.9\text{‰} \sim +5.3\text{‰}$).

3.2 铅同位素地球化学

对取自上述三类矿石(矽卡岩型致密块状矿石、热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩矿石)中的方铅矿, 在国土资源部同位素实验室用多接收器等离子体质谱法(MC-ICPMS)测定其铅同位素比值, 所用仪器为英国 Nu Instrument HR. 其结果(表 5)表明: 矽卡岩型致密块状矿石铅同位素比值 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.6318 \sim 18.6406$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.6730$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.9147 \sim 38.9153$; 热液充填型角砾状矿石铅同位素比值 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.7481 \sim 18.8030$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.7050 \sim 15.7226$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 39.0341 \sim 39.0976$; 似层状硅化白云岩矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.7438 \sim 18.7514$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.7011 \sim 15.7047$,

表 4 金腊铅锌矿田矿石硫同位素组成

Table 4 Sulfur isotope composition from the ores of the Jinla Pb-Zn-Ag deposits across China and Myanmar border					
样品号	原样号	样品名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}(\text{‰})$	矿石类型	采样地点
KQ20052547	N LPD1-01	闪锌矿	1.6	矽卡岩型致密块状矿石	南腊铅锌矿床 PD1 平硐
KQ20052548	N LPD1-04	方铅矿	0.7		
		闪锌矿	1.2		
		方铅矿	1.1		
KQ20052543	ZLPD03-02	闪锌矿	2.4	热液充填型角砾状矿石	金厂铅锌矿床竹林矿段 PD03 平硐
KQ20052544	ZLPD03-03	方铅矿	-0.2	热液充填型角砾状矿石	金厂铅锌矿床龙洞河矿段 PD18 平硐
		闪锌矿	2.5		
KQ20052545	ZLPD03-04	方铅矿	-1.9		
		闪锌矿	2.0		
KQ20052546	ZLPD03-05	方铅矿	0.7		
		闪锌矿	2.6		
KQ20052549	LDHPD18-01	闪锌矿	0.1	似层状硅化白云岩矿石	金厂铅锌矿床龙洞河矿段 PD26 平硐
KQ20052549	LDHPD18-01	方铅矿	2.4		
		方铅矿	0.4		
KQ20052550	LDHPD18-02	闪锌矿	2.3		
		方铅矿	-1.3		
KQ20052552	LDPD26-04	闪锌矿	5.3	似层状硅化白云岩矿石	金厂铅锌矿床龙洞河矿段 PD55 平硐
KQ20052553	LDPD26-05	方铅矿	1.3		
		闪锌矿	3.9		
		方铅矿	2.3		
KQ20052554	LDHPD55-05	闪锌矿	3.8		
		方铅矿	1.8		

表 5 金腊铅锌矿田矿石铅同位素组成

Table 5 Lead isotope composition from the ores of the Jinla Pb-Zn-Ag deposits across China and Myanmar border						
样品原号	矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	矿石类型	取样位置
ZLPD01-01	方铅矿	18.640 6±0.000 8	15.673 0±0.000 8	38.915 3±0.002 3	矽卡岩型	南腊铅锌矿床
ZLPD01-04	方铅矿	18.631 8±0.000 7	15.673 0±0.000 6	38.914 7±0.001 5	致密块状	PD01 平硐
ZLPD03-02	方铅矿	18.785 2±0.001 2	15.721 5±0.001 2	39.089 8±0.003 9	热液充填	金厂铅锌矿床竹林
ZLPD03-03	方铅矿	18.776 0±0.001 0	15.719 1±0.000 9	39.077 6±0.002 4	型角砾状	矿段 PD03 平硐
LDHPD18-02	方铅矿	18.748 1±0.000 6	15.705 0±0.000 6	39.034 1±0.001 8	热液充填	金厂铅锌矿床龙洞
LDHPD18-04	方铅矿	18.803 0±0.001 4	15.722 6±0.001 2	39.097 6±0.003 0	型角砾状	河矿段 PD18 平硐
DHPD26-04	方铅矿	18.751 4±0.001 2	15.704 7±0.000 8	39.031 6±0.002 1	似层状硅	金厂铅锌矿床龙洞
LDHPD26-05	方铅矿	18.743 8±0.002 6	15.701 1±0.002 0	39.018 8±0.007 9	化白云岩	河矿段 PD26 平硐

注: 铅同位素比值用多接收器等离子体质谱法(MC-ICPMS)测定, 所用仪器为英国 Nu Instrument HR, 以 Tl 为标准进行仪器的质量分馏校正。

$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=39.018\ 8\sim39.031\ 6$, 这表明矽卡岩型致密块状矿石铅同位素比值低于热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩矿石, 意味着形成于岩体接触带的矽卡岩型矿石相对形成于远离岩体的热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩矿石含有更低的放射性成因铅。该矿床的矿石铅同位素组成与澜沧老厂火山岩型铅锌矿床矿石铅同位素组成($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.716\sim18.748$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.729\sim15.770$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=39.087\sim39.197$; 叶庆同等, 1992; Yang *et al.*, 1999) 接近; 与中国与岩浆活动有关的铅锌矿床相比(陈好寿等, 1994), 该铅锌矿床铅同位素组成属于含高放射性成因铅的铅锌

矿床。在 Zartman and Doe(1981) 铅构造模式演化曲线上(图 2), 数据点分布于造山带演化线与上地壳演化线之间, 类似于相邻(北侧)保山—镇康地块核桃坪和芦子园铅锌矿床(陈永清等, 2005; 夏庆霖等, 2005), 反映壳(上地壳和下地壳)源铅、幔(软流圈)源铅相混合的特点。总之, 结合本区与成矿有关的花岗岩定年研究(陈永清等, 2009)、矿石铅同位素组成反映该矿床形成于造山带环境, 成矿与壳幔作用引起的上地壳熔融产生的花岗质岩浆活动具有密切关系。

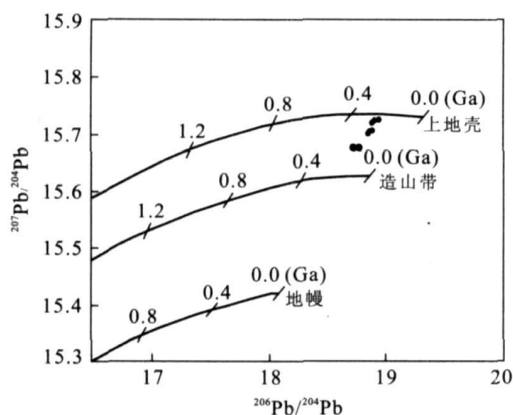


图 2 金腊铅—锌—银矿床 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系 (Zartman and Doe, 1981)

Fig. 2 Map showing relationships between $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ in the Pb-Zn-Ag mineralization of Jinla ore field across China and Myanmar border

4 成矿流体特征与物理化学条件分析

该铅锌矿床流体包裹体微小 ($5 \sim 15 \mu\text{m}$), 发育于石英、方解石和闪锌矿等透明和半透明矿物中; 原生包裹体多呈椭圆型和不规则型, 呈群状、孤立状或平行于主矿物生长线分布; 常见富液二相包裹体, 其气液比通常为 $5\% \sim 10\%$ 。取自矿床热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩矿石磨制的 5 片包裹体测温片测温结果 (表 6) 表明: 石英中包裹体均一温度 $141 \sim 291^\circ\text{C}$, 代表了主成矿期成矿热液温度分布范围, 其中热液充填型角砾状矿石石英均一温度 ($172 \sim 291^\circ\text{C}$) 大于似层状硅化白云岩矿石石英均一温度 ($141 \sim 255^\circ\text{C}$); 石英中包裹体盐度 NaCl 为 $3.2\% \sim 6.6\%$, 其中热液充填型角砾状矿石石英包裹体盐度 ($4.2\% \sim 6.6\%$) 与似层状硅化白云岩矿石石英包裹体盐度 ($3.2\% \sim 6.4\%$) 基本类似。闪锌矿中包裹体均一温度为 $145 \sim 238^\circ\text{C}$, 其中热液充填型角砾状矿石闪锌矿均一温度 ($168 \sim 238^\circ\text{C}$) 大于似层状硅化白云岩矿石闪锌矿均一温度 ($145 \sim 165^\circ\text{C}$); 闪锌矿中包裹体盐度 NaCl 为 $0.9\% \sim 7.4\%$, 其中热液充填型角砾状矿石闪锌矿包裹体盐度 ($3.2\% \sim 7.4\%$) 大于似层状硅化白云岩矿石闪锌矿包裹体盐度 ($0.9\% \sim 1.9\%$)。上述表明: (1) 整个成矿流体具中低温和低盐度的特点。(2) 热液充填型角砾状矿石形成温度和含盐度皆大于似层状硅化白云岩铅锌矿石, 意味着角砾状铅锌矿化形成于早期温度和盐度相对较高矿化阶段, 而似层状硅化白云

岩型铅锌矿化形成于晚期温度和盐度相对较低的矿化阶段。(3) 无论是热液充填型角砾状矿石, 还是似层状硅化白云岩矿石, 闪锌矿形成温度的下限与石英基本一致, 而上限则明显低于石英; 意味着石英结晶沉淀时间早于闪锌矿, 且结晶沉淀持续的时间亦大于闪锌矿化。

矿床成矿流体包裹体测温频数直方图 (图 3) 显示双峰分布, 数据集中分布在 $215 \sim 290^\circ\text{C}$ 和 $140 \sim 215^\circ\text{C}$ 两段温度范围, 可能代表两个矿化阶段; 结合样品地质分布推测, 前者代表角砾岩型铅锌矿化阶段, 后者代表似层状硅化白云岩型铅锌矿化阶段。根据成矿流体包裹体均一温度和盐度可进一步推断成矿流体的密度分布为 $0.95 \sim 0.80 \text{ g/cm}^3$, 均一压力为 $3.55 \times 10^5 \sim 70.75 \times 10^5 \text{ Pa}$ (刘斌和沈昆, 1999; 卢焕章等, 2004)。

5 结论

(1) 容矿围岩普遍富集成矿元素 (Pb、Zn、Cu、Au、Sn、W 等)。就花岗岩而言, 钾长花岗斑岩在主要组分上, 以富 K_2O 、且强烈亏损 Na_2O 为特征, 在成矿元素上, 无论富集元素的强度和种类皆远大于二长花岗岩类, 加之它空间上通常伴有 Pb-Zn-Ag 矿化, 可以推断该类岩体是最有成矿远景的岩体。

(2) 矿床地球化学研究表明: 金厂铅锌矿床, 以 Zn-Pb-Sb ($k > 1000$) 矿化为特征, 在矽卡岩型矿化中, Sn 可作为伴生元素 ($1000 > k > 100$), Cu-Bi-Au 为显著富集的元素 ($100 > k > 10$)。南腊铅锌矿床以 Bi-Pb-Zn 矿化为特征, 伴生元素为 Sn-Cu, 显著富集的元素为 W-Ag-Sb-Au。对于芭林矽卡岩型矿床, 以 Au-Cu 矿化为特征, 伴生元素为 Bi-Sn, 显著富集的元素为 Zn-Sb。

(3) $\delta^3\text{S}$ 在上述矿石中的总体分布范围为 $-1.9\% \sim +5.3\%$, 与我国岩浆活动有关的铅锌矿床的硫同位素组成一致。铅同位素表明矽卡岩型致密块状矿石铅同位素比值 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) 皆低于热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩矿石, 意味着形成于岩体接触带的矽卡岩型矿石相对形成于远离岩体的热液充填型角砾状矿石和似层状硅化白云岩矿石含有更低的放射性成因铅。

(4) 铅锌矿化形成于喜马拉雅造山运动后期 (45 Ma) 拉张构造环境, 成矿与区内喜马拉雅期花

表 6 金厂铅锌矿床矿物包裹体特征及均一法测试结果

Table 6 Features of fluid inclusions and their analytical results by homogenization method of the Jinchang Pb-Zn deposits across China and Myanmar border

样号	主矿物名称	包体类型	包体形态	大小(μm)	气液比(%)	均一温度(℃)	冷冻温度(℃)	盐度(‰)	颜色	矿石类型	取样位置
ZLPD03-04	闪锌矿	原生	椭圆, 不规则	5~10	5~10	181~238	-3.0~-4.6	4.9~7.4	无或呈褐色	热液充填型角砾状矿石	竹林矿段 PD03 平硐
ZLPD03-05	石英	原生	椭圆, 不规则	6~10	5~10	172~291	-2.5~-4.1	4.2~6.6	无	热液充填型角砾状矿石	竹林矿段 PD03 平硐
LDHPD18-01	闪锌矿	原生	不规则, 椭圆	5~8	10	168~185	-1.9~-4.6	3.2~7.3	无	热液充填型角砾状矿石	龙洞河矿段 PD18 平硐
ZLZK501-100	石英	原生	不规则	5~6	6~7	155~255	-2.0~-4.0	3.5~6.4	无	似层状硅化白云岩矿石	竹林矿段 ZK501 钻孔
	闪锌矿	原生	椭圆	5~8	7~10	145~165	-0.9~-1.1	0.9~1.9			
ZLZK502-01	石英	原生	椭圆, 不规则	6~15	7~10	141~246	-1.9~-3.5	3.2~5.7	无	似层状硅化白云岩矿石	竹林矿段 ZK502 钻孔

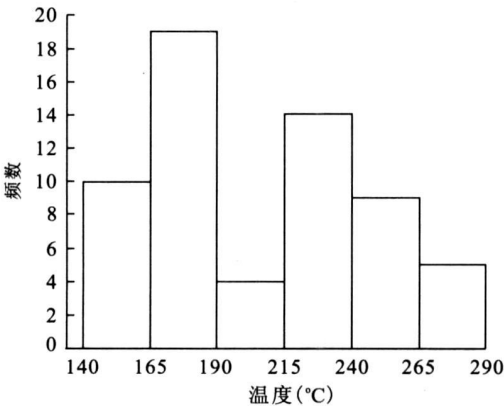


图 3 金腊铅锌矿床成矿流体温度分布

Fig. 3 Temperature frequency histogram of the primary fluid inclusions from the Jinla lead-zinc deposits across China and Myanmar border

岗岩,尤其是与钾长花岗斑岩岩株具有密切关系.矿化主要经历了两个成矿期:矽卡岩化成矿期和中低温热液成矿期,前者主要形成铜(金)–铅–锌矿化;后者主要形成铅–锌–银矿化.据成矿温度,中低温热液成矿期又可划分为两个成矿阶段:中温成矿阶段(200~290℃)和低温成矿阶段(140~200℃),前者形成交代充填型角砾岩矿体,后者形成层间破碎带充填型矿体.

(5)金腊铅锌矿床矿石铅同位素组成不仅与其相邻的保山–镇康地块某些铅锌矿床(核桃坪和芦子园矿床)而且和东邻昌宁–孟连火山岩带的铅锌矿床(老厂矿床)具有类似特征;与金腊铅锌矿床有关的花岗岩 U-Pb 锆石年龄为 45 Ma(陈永清等, 2009),与核桃坪铅锌矿化有关的隐伏花岗岩 U-Pb 锆石年龄为 39 Ma(另文讨论),老厂铅锌矿床深部

发现与矿化有关的花岗岩 Rb-Sr 年龄为 50.27 Ma(李兴振等, 1999).上述研究表明:虽然矿床产出于不同的地质构造单元,但成矿都与喜马拉雅期岩浆活动有某种内在联系.随着成矿同位素年代学研究的深入,将会发现喜马拉雅期构造岩浆活动在“三江”成矿带的形成和演化上扮演极其重要的角色.

References

Chen, H. S., Zhou, S., Wei, L., et al., 1994. Geochronology and isotope geochemistry of metallogenesis. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Chen, Y. Q., Huang, J. N., Lu, Y. X., et al., 2009. Zircon U-Pb age and geochemistry of granitoids within Jinla Pb-Zn-Ag poly metallic ore field across China and Myanmar. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 344— 362 (in Chinese with English abstract).

Chen, Y. Q., Lu, Y. X., Xia, Q. L., et al., 2005. Geochemical characteristics of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Baoshan, Yunnan, and its genetic model and ore prospecting pattern. *Chinese Geology*, 32(1): 90— 99 (in Chinese with English abstract).

Dong, W. W., 2007. The metallogenetic conditions and typical model in Baoshan-Zhenkang massif. *Yunnan Geology*, 26(1): 56— 61 (in Chinese with English abstract).

Dong, W. W., Chen, S. L., 2007. The characteristics & genesis of Luziyuan Pb-Zn deposit, Zhenkang. *Yunnan Geology*, 26(4): 404— 410 (in Chinese with English abstract).

Li, J. S., 2002. Application of IP method to prospecting bline orebody in Jinchang, Pb-Zn deposit, Myanmar. *Yunnan Geology*, 21(4): 428— 436 (in Chinese with English abstract).

Li, X. Z., Liu, W. J., Wang, Y. Z., et al., 1999. The tectonic

- evolution and metallogenesis in the Tethys of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area, southwestern China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Liu, B., Shen, K., 1999. Thermodynamics of fluid inclusion. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Lu, H. Z., Fan, H. R., Ni, P., et al., 2004. Fluid inclusions. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Wang, Y. Z., Li, X. L., Duan, L. L., et al., 2000. Tectonics and metallogenesis on south area of Sanjiang ore-forming belt. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xia, Q. L., Chen, Y. Q., Lu, Y. X., et al., 2005. Geochemistry, fluid inclusion, and stable isotope studies of Luziyuan Pb-Zn deposit in Yunnan Province, southwestern China. *Earth Sciences—Journal of China University of Geosciences*, 30(2): 177—186 (in Chinese with English abstract).
- Yan, M. C., Chi, Q. H., 1997. The chemical compositions of the continental crust and rocks in the eastern part of China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Yang, K. H., Scott, S. D., Mo, X. X., et al., 1999. Massive sulfide deposits in the Changning-Menglian Bank-arc belt in western Yunnan, China: Comparison with modern analogues in the Pacific. *Explor. Mining Geol.*, 8(3—4): 211—231.
- Yang, Y. B., 2002. On the metallogenesis and ore prospecting in Kachin-Shan area, Myanmar. *Yunnan Geology*, 21(4): 413—420 (in Chinese with English abstract).
- Ye, Q. T., Hu, Y. Z., Yang, Y. Q., et al., 1992. Regional geochemical background and gold, silver, and lead-zinc mineralization in the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zartman, R. E., Doe, B. R., 1981. Plumbotectonics—The model. *Tectonophysics*, 75(1): 135—162.
- ### 附中文参考文献
- 陈好寿, 周肃, 魏林, 等, 1994. 成矿作用年代学及同位素地球化学. 北京: 地质出版社.
- 陈永清, 黄静宁, 卢映祥, 等, 2009. 中缅毗邻区金腊 Pb-Zn-Ag 多金属矿田花岗岩锆石 U-Pb 定年与元素地球化学特征. *地学前缘*, 16(1): 344—362.
- 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. *中国地质*, 32(1): 90—99.
- 董文伟, 2007. 保山镇康地地块成矿条件及典型矿床成矿模式. *云南地质*, 26(1): 56—21.
- 董文伟, 陈少玲, 2007. 镇康芦子园铅锌矿床特征及成因. *云南地质*, 26(4): 404—410.
- 李家盛, 2002. 应用激电法在缅甸金厂铅锌矿寻找隐伏矿体. *云南地质*, 21(4): 428—436.
- 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. 北京: 地质出版社.
- 刘斌, 沈昆, 1999. 流体包裹体热力学. 北京: 地质出版社.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等, 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社.
- 王义昭, 李兴林, 段丽兰, 等, 2000. 三江地区南段大地构造与成矿. 北京: 地质出版社.
- 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. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(2): 177—186.
- 鄯明才, 迟清华, 1997. 中国东部地壳与岩石的化学组成. 北京: 科学出版社.
- 杨云保, 2002. 缅甸克钦邦一掸邦地区成矿与找矿. *云南地质*, 21(4): 413—420.
- 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等, 1992. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用. 北京: 地质出版社.