

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.172>



特提斯喜马拉雅金锑铅锌多金属成矿带成矿流体特征：来自 H-O 同位素的约束

梁 维

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

摘要：特提斯喜马拉雅成矿带产出数十个规模不等的金矿、锑金矿、锑矿和铅锌多金属矿,近期的矿产勘查在片麻岩穹窿发现了铍稀有多金属矿床.该成矿带内发育两期金锑铅锌矿化,其一为以邦布金矿和马攸木金矿为代表的造山型金矿,形成于59~45 Ma,属于青藏高原造山主碰撞阶段的产物;其二为以姐纳各普金矿、车穷卓布锑矿、扎西康铅锌矿的晚期矿化和吉松铅锌矿等为代表的热液型矿化,集中形成于21~12 Ma的后碰撞造山阶段.大量的流体包裹体研究表明喜马拉雅金锑铅锌成矿带的成矿流体主要为中低温(小于300℃)、中低盐度流体($<10\%$ NaCl_{eqv}).本文统计了已发表的和新获得的带内不同类型矿床共169个石英、绢云母、菱锰矿等热液矿物氢氧同位素数据,发现在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 相图中,这些同位素组成构成了3个端元:A端元以车穷卓布锑矿为代表,显示出极低的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值(低于 -13%)和低的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值($<-111\%$),靠近现代雨水线,完全落入西藏地热水H-O同位素范围;B端元以沙拉岗锑矿为代表,显示出具有最低的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值(最低至 -172%)和较高的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值(高达 12%),落入建造水的H-O同位素范围内;端元C以邦布金矿和浪卡子金矿为代表,显示出具有极高的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值(高达 -43%)和中等的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值,与造山型金矿氧同位素 $6\%\sim 13\%$ 的范围相同,包括了原始岩浆水的范围和部分变质水的范围.带内主要金属矿床成矿流体氢氧同位素均介于这3个流体端元之间,显示出绝大部分矿床的流体均非单一流体来源,而具有多源流体混合的特征.

关键词：特提斯喜马拉雅;多金属成矿带;氢氧同位素;成矿流体;矿床地质.

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2019)07-2308-11

收稿日期: 2019-01-30

Characteristics of Ore-Forming Fluids in Himalayan Au-Sb-Pb-Zn Polymetallic Belt: Constraints from H-O Isotopes

Liang Wei

Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China

Abstract: The Tethys Himalayan metallogenic belt contains dozens of gold, gold-antimony and lead-zinc polymetallic ore deposits with variable sizes. Some Be-Rb-Sn-W polymetallic deposits in the gneiss dome have been found in recent mineral explorations. A 2-stage gold-antimony-lead-zinc mineralization in the orogenic belt has been recognized, one of which is the orogenic gold deposit represented by the Bangbu and Mayum gold deposit. These deposits were formed at 59–45 Ma, belonging to the main collision stage of the India-Asia continental collision. The others are hydrothermal-type gold-antimony-lead-zinc deposits represented by the Jienagepu gold deposit, Cheqiongzuobu vein-type antimony deposit, Zhaxikang lead-zinc polymetallic vein-type deposit and Jisong lead-zinc deposit. The formation of the deposits is concentrated in the post-collision orogenic stage of 21–12 Ma. A large

基金项目：国家重点研发计划项目(Nos. 2018YFC0604103, 2016YFC0600308);国家自然科学基金(No. 41702080);西藏山南地区铍锡多金属矿调查评价项目(No. DD20190147).

作者简介：梁维(1986—),男,博士,工程师,长期从事青藏高原岩浆和矿床相关研究. ORCID:0000-0001-8499-8936. E-mail:lwcugb@126.com

引用格式：梁维, 2019. 特提斯喜马拉雅金锑铅锌多金属成矿带成矿流体特征: 来自 H-O 同位素的约束. 地球科学, 44(7): 2308–2318.

number of fluid inclusion researches indicate that the ore-forming fluids of Himalayan gold-antimony-lead-zinc metallogenic belt are mainly medium-low temperature (less than 300 °C) and medium-low salinity fluid ($<10\%$ NaCleqv). This paper presented a total of 169 H-O isotopic data of quartz, sericite and rhodochrosite that have been published and newly obtained from experiments. It is found that these isotopic compositions constitute three endmembers in the $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ phase diagram. The endmember A (the Cheqiongzhubu-type) has characteristics of very low $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ value ($<-13\%$) and low $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ value ($<-111\%$), which is close to the Modern Rainwater Line(MRL), and completely falls into the H-O isotope range of Tibet geothermal water. The endmember B (the Shalagang-type) shows the lowest $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ value (lowest to -172%) and higher $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (up to 12%) value than A, that falls within range of the Formation Water. The endmember C constitutes very high $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ value (up to -43%) and a medium $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ value, which has two typical representative types of the Bangbu-type and the Langkazi-type. The Bangbu-type has the same oxygen isotope range($6\%-13\%$) as that of orogenic gold deposit. However, the Langkazi-type shows same oxygen isotope range with the Original Magma Water(OMW). The ore-forming fluids hydrogen and oxygen isotopes of most deposits in Himalayan collisional belt fall among endmembers A, B and C, indicating that most of ore-forming fluids are not of a single fluid source, but have the characteristics of fluid mixing with multiple sources.

Key words: Tethys Himalayan; polymetallic metallogenic belt; hydrogen and oxygen isotopes; ore-forming fluid; ore deposit geology.

特提斯喜马拉雅造山带广泛发育新生代以来的成矿作用,主要为金、金锑、锑、铅锌、铅锌锑多金属矿,如查拉普金矿床、邦布金矿、马扎拉金锑矿、车穷卓布锑矿、吉松铅锌矿、扎西康铅锌多金属矿床等(图1),构成了喜马拉雅铅锌多金属成矿带或藏南金锑多金属成矿带(侯增谦等,2006;戚学祥等,2008;郑有业等,2014).该成矿带几乎无铜、钼等矿化显示,而近年来开始有钨锡及铍、铷等稀有金属矿产被相继发现(李光明等,2017;梁维等,2018).前人对特提斯喜马拉雅带主要的铅锌、金锑的成矿地质特征、控矿要素、成矿物质来源、成矿时代、矿床成因等进行过研究(聂凤军等,2005;侯增谦等,2006;杨竹森等,2006;戚学祥等,2008;郑有业等,2012;Zhai *et al.*, 2014;Duan *et al.*, 2016;Wang *et al.*, 2017;Xie *et al.*, 2017;Sun *et al.*, 2018;Liang *et al.*, 2018),各研究虽然侧重点不同,但均认识到这些矿床的形成与碰撞造山过程中的构造—岩浆及流体作用关系密切.其中,成矿流体的性质和来源是前人讨论的焦点之一(孟祥金等,2008;Yang *et al.*, 2009;朱黎宽等,2012;Xie *et al.*, 2017).成矿流体研究是热液矿床确定矿床类型、研究矿床成因、指导找矿方向的重要指标(郭春影等,2011),前人虽然已开展了矿床尺度的研究(温春齐等,2006;杨竹森等,2006;朱黎宽等,2012;Xie *et al.*, 2017),却尚未对整个金锑铅锌成矿带的成矿流体进行总结和系统研究.翟裕生(1999)指出,成矿流体是成矿系统中最为活跃的要素,它发挥着萃取、溶解、搬运、沉淀、聚集成矿物质的作用,是沟通矿源场、运移场和储矿场的纽带和媒介,而区域尺度的成矿流

体经常是多类型和多来源的,不同类型流体的混合作用(如岩浆热液与大气降水混合)常是促使矿质沉淀的动力机制.因此,要理解区域成矿作用,对区域成矿流体的把握就必不可少.成矿流体的研究内容主要包括稳定同位素(C、H、O、S、Si等)、He/Ar等惰性气体(李振清等,2005;孟祥金等,2008;Sun *et al.*, 2016)和F、Cl、I等卤素微量气体比值(李晓峰等,2003)等.氢氧同位素体系研究是几乎所有热液矿床中最为广泛采用的示踪流体来源的手段.本文通过成矿带典型矿床H-O同位素的统计和分析并结合新获得的数据,系统梳理了喜马拉雅金锑铅锌多金属成矿带成矿流体的特征及矿化作用过程.

1 区域地质背景

喜马拉雅造山带属于青藏高原最南端的部分,东西长度大于2 000 km,是印度板块与欧亚板块新生代以来碰撞造山的结果(Lefort, 1975).其南侧由主边界逆冲断裂(MFT)限定,北侧由雅鲁藏布江缝合带(IYS)与冈底斯构造带分割.自南而北,包括亚喜马拉雅(第三纪层)、低喜马拉雅、高喜马拉雅(结晶混杂岩)和特提斯喜马拉雅4个构造单元.其中特提斯喜马拉雅造山带夹持于雅鲁藏布江缝合带(IYZS)和藏南拆离系(STDS)(尹安,2001).

特提斯喜马拉雅主要发育中生代—始新世浅变质的海相沉积及渐新世陆相沉积,在穹窿核部出露少量印度板块北缘的前寒武系变质基底.其中,三叠系、侏罗系和白垩系沉积岩最为发育(图1),主要岩性为砂岩、粉砂岩、泥页岩,以及低级变质的板

反应 12 min,最后收集 CO₂,在 MAT-251EM 型质谱仪上进行氧同位素测试,分析精度(2σ)为±0.2‰,测试结果以 V-SMOW 的 δ 值表示。

3 H-O 同位素分馏特征

由于实验过程中只能直接获得测试矿物的 H、O 同位素值,因此需要根据矿物—水之间的平衡分馏进行计算,间接获得流体的 H-O 同位素值。

矿物—水之间的 H、O 同位素平衡分馏经验公式较多,不同文献中采用的公式也不同,给直接对比成矿流体性质造成困难。为了更好地探讨成矿流体的性质和特征,笔者对收集的数据根据不同的矿物、温度进行分类,采用统一的公式重新计算,获得新的成矿流体 δD_{V-SMOW} 和 δ¹⁸O_{H₂O},采用的矿物—水平衡分馏公式如下:

(1)对于石英—水的氧同位素平衡分馏,分为以下两种情况:①当流体包裹体的均一温度小于 250 ℃时,采用 $10^3 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 3.40$ (Clayton *et al.*, 1972) 获得 δ¹⁸O_{H₂O};②当流体包裹体的均一温度大于 250 ℃且小于 500 ℃时,采用 $10^3 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.34 \times 10^6 / T^2 - 3.31$ (Matsuhisa *et al.*, 1979)。

(2)对于铁菱锰矿—水的氧同位素平衡分馏,采用菱铁矿—水的氢同位素平衡分馏计算公式: $10^3 \ln \alpha_{\text{菱铁矿-水}} = 4.19 \times 10^6 / T^2 - 4.59 \times 10^3 / T^2 + 1.7$ (Zheng, 1993)。

(3)对于绢云母—水的氧同位素平衡分馏,采用白云母—水的氧同位素平衡分馏计算公式: $10^3 \ln \alpha_{\text{白云母-水}} = -22.1 \times 10^6 / T^2 - 2.8$ (Matsuhisa *et al.*, 1979)。

(4)对于绿柱石—水的氧同位素平衡分馏,采用白云母—水的氧同位素平衡分馏计算公式: $10^3 \ln \alpha_{\text{绿柱石-水}} = 1.579 \times 10^6 / T^2 - 0.645 \times 10^6 / T - 2.522$ (250~500 ℃) (Taylor *et al.*, 1992)。

(5)对于绢云母—水的氢同位素平衡分馏,采用白云母—水的氢同位素平衡分馏计算公式: $10^3 \ln \alpha_{\text{白云母-水}} = -22.1 \times 10^6 / T^2 - 2.8$ (Suzuoki and Epstein, 1976)。

4 喜马拉雅带典型矿床 H-O 同位素组成

本文共分析了 3 个典型矿床的石英 H-O 同位

素,包括扎西康铅锌多金属矿 9 组数据、吉松铅锌矿 5 组数据和马扎拉金锑矿 6 组数据(附表 1)。此外,本文还全面收集了喜马拉雅成矿带各类文献中的 H-O 同位素数据(附表 1,图 2),包括了扎西康铅锌多金属矿(杨竹森等, 2006;张建芳, 2010;朱黎宽等, 2012;Xie *et al.*, 2017)、沙拉岗锑矿(高伟, 2006;杨竹森等, 2006; Zhai *et al.*, 2014)、拿不龙锑矿(高伟, 2006)、车穷卓布锑矿(孟祥金等, 2008;张刚阳, 2012)、马扎拉金锑矿(Yang *et al.*, 2009;张刚阳, 2012; Zhai *et al.*, 2014)、查拉普金矿(张刚阳, 2012)、浪卡子金矿(成都理工大学, 1999, 西藏浪卡子地区岩金矿成矿地质条件、控矿因素及找矿模式研究)、哲古锑金矿(杨竹森等, 2006; Yang *et al.*, 2009;张刚阳, 2012)、姐纳各普金锑矿(董随亮等, 2017)、洗贡金矿(张刚阳, 2012)、邦布金矿(张刚阳, 2012;孙清钟等, 2013;Sun *et al.*, 2016;Pei *et al.*, 2016)、马攸木金矿(温春齐等, 2006)、折木朗金矿(Zhai *et al.*, 2014)、错那洞伟晶岩及淡色花岗岩(Xie *et al.*, 2017)。

马攸木金矿位于西藏阿里市普兰县,拿不龙锑矿位于定日县,两个矿床位于喜马拉雅中西段。其余绝大部分矿床位于喜马拉雅东段,集中分布于东经 89 度以东的区域。其中,邦布金矿、折木朗金矿和洗贡金矿位于雅拉香波穹窿构造东侧,形成邦布金矿集区;吉松铅锌矿、扎西康铅锌多金属矿、马扎拉金矿、姐纳各普金锑矿、错那洞铍稀有金属矿等位于扎西康铅锌—稀有金属矿集区,浪卡子金矿、哈翁金矿、沙拉岗锑矿等分布于然巴穹窿附近的浪卡子金—锑矿集区,车穷卓布锑矿、壤拉锑矿等位于措美锑矿集区(图 1)。

扎西康铅锌多金属矿包括了早期的铅锌成矿期和晚期的富锑成矿期(Sun *et al.*, 2018;Liang *et al.*, 2018),早期铅锌矿成矿流体 H-O 同位素具有极大的变化范围,形成温度变化于 200~265 ℃, δ¹⁸O_{H₂O} 变化范围较大,为 -13.00‰~13.18‰, δD_{V-SMOW} 变化于 -103‰~-165‰;后期富锑矿化期 δ¹⁸O_{H₂O} 变化于 -11.47‰~0.90‰, δD_{V-SMOW} 变化于 -103‰~-165‰。Xie *et al.* (2017)报道了扎西康 3 个铁菱锰矿的 H-O 同位素, δ¹⁸O_{H₂O} 变化于 1.33‰~2.33‰, δD_{V-SMOW} 变化于 -110‰~-103‰,与伟晶岩及淡色花岗岩的 H-O 同位素值相同。吉松铅锌矿流体 δ¹⁸O_{H₂O} 集中于 0.25‰~2.12‰, δD_{V-SMOW} 变化于 -116.6‰~-98.7‰。

马扎拉金锑矿 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 $7.54\text{‰} \sim 16.28\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-119\text{‰} \sim -63.1\text{‰}$; 哲古金锑矿 H-O 同位素组成包括两个部分, 其一为较高的 H-O 同位素值, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 $2.50\text{‰} \sim 4.48\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-119\text{‰} \sim -100\text{‰}$; 其二为较低的 H-O 同位素值, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 $5.90\text{‰} \sim 12.20\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-76\text{‰} \sim -72\text{‰}$; 姐纳各普金锑矿石英中流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 $7.81\text{‰} \sim 12.91\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-142.9\text{‰} \sim -128.0\text{‰}$, 绢云母中的流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 $3.93\text{‰} \sim 10.23\text{‰}$, $\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-143.3\text{‰} \sim -133.7\text{‰}$.

车穷卓布锑矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $-15.52\text{‰} \sim -13.52\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-160\text{‰} \sim -111\text{‰}$; 沙拉岗锑矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $11.51\text{‰} \sim 13.03\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 集中于 $-173.4\text{‰} \sim -151.0\text{‰}$.

浪卡子金矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $2.60\text{‰} \sim 8.88\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-80\text{‰} \sim -52\text{‰}$; 查拉普金矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $7.76\text{‰} \sim 9.86\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $-124\text{‰} \sim -101\text{‰}$; 邦布金矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $4.68\text{‰} \sim 6.03\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 集中于 $-76\text{‰} \sim -54\text{‰}$; 折木朗金矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $2.82\text{‰} \sim 8.27\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 分布于 $-107.0\text{‰} \sim -36.7\text{‰}$, 集中于 $-87.3\text{‰} \sim -55.3\text{‰}$; 洗贡金矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $4.68\text{‰} \sim 6.03\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 集中于 $-76\text{‰} \sim -54\text{‰}$; 马攸木金矿成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $4.50\text{‰} \sim 11.71\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 集中于 $-87\text{‰} \sim -82\text{‰}$.

错那洞伟晶岩及绿柱石中的流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $3.50\text{‰} \sim 8.89\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 集中于 $-117.7\text{‰} \sim -110.0\text{‰}$; 淡色花岗岩中石英—电气石脉流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 集中于 $1.68\text{‰} \sim 4.28\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 集中于 $-144.0\text{‰} \sim -131.7\text{‰}$.

5 讨论

5.1 喜马拉雅金锑铅锌成矿带矿床类型

目前喜马拉雅金锑铅锌成矿带已发现的各类型矿床(点)超过 50 处(聂凤军等, 2005; Yang *et al.*, 2009), 并不断有新的矿床被发现和报道(董植亮等, 2017). 目前, 带内的矿床类型包括造山型金矿、浅成低温热液型金矿、热液脉型铅锌矿、叠加改造型铅锌多金属矿、矽卡岩/伟晶岩型铍稀有金属矿等.

造山型金矿主要分布于喜马拉雅带北部, 靠近

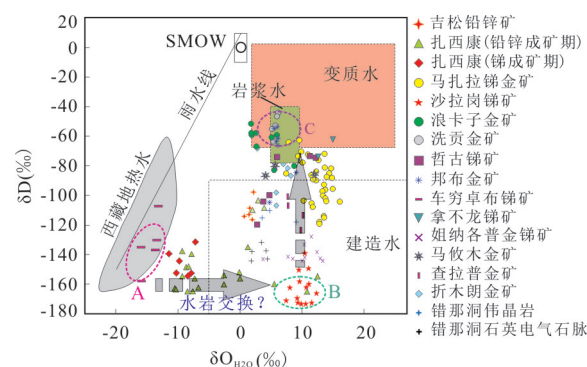


图2 特提斯喜马拉雅典型矿床氢氧同位素组成特征

Fig. 2 Hydrogen-oxygen isotope diagram for deposits in Himalayan metallogenic belt

底图据 Hedenquist and Lowenstern (1994); 西藏地热水数据据郑淑蕙等 (1982)

雅鲁藏布江缝合带, 受大型的脆—韧性剪切带及其次级断裂控制, 成矿流体具有富含 CO_2 、低盐度、低密度、中低温度的特征, 成矿流体为典型的变质流体, 与典型的造山型金矿特征相符 (Groves *et al.*, 1998). 典型矿床如邦布金矿 (孙清钟等, 2013; Sun *et al.*, 2016; Pei *et al.*, 2016)、马攸木金矿 (温春齐等, 2006; 李华健等, 2017)、洗贡金矿等. 折木朗金矿产于与邦布相同的北北西向大型韧性剪切带中, 马扎拉金锑矿产出于近东西向的大型韧性剪切带中, 因此有研究表明其与折木朗金矿均具有造山型金矿的特征 (Zhai *et al.*, 2014).

值得一提的是, 查拉普金矿早期被认为是造山型金矿, 然而热液成矿阶段含 As 黄铁矿的结构与元素组成及赋矿围岩为黑色岩系等特点却与典型的卡林型金矿特征相似 (周天成等, 2015), 部分研究者将其划分为卡林型金矿, 并非造山型金矿, 因此查拉普金矿的成因类型存在一定的争议.

热液脉型铅锌矿以吉松铅锌矿为典型代表. 吉松铅锌矿位于错那洞片麻岩穹窿东南侧, 赋矿围岩为深灰色砂质泥岩、泥质粉砂岩, 矿体产于近北东向断裂构造之中 (尹远等, 2015), 控矿构造与穹窿拆离系的次级裂隙系统相匹配, 属于受断裂控制的热液脉型铅锌矿.

热液叠加改造型铅锌多金属矿包括扎西康铅锌多金属矿 (Liang *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018)、柯月铅锌多金属矿 (林彬等, 2016) 等. 其赋矿层位为中生代的浅变质粉砂岩、钙质板岩等, 矿体赋存于大型的近南北向断裂之中, 矿石出现大量的角砾状、皮壳状矿化. 该类矿床显示出多期矿化的特征,

早期为铅锌矿化期,后期为富锑矿化期,并且后期矿化叠加改造了早期矿化,因此容易形成大型—超大型规模的矿床(Liang *et al.*, 2018).流体包裹体显微测温显示成矿流体早期为中低温、低盐度,后期为低温、低盐度(Xie *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2018).Fe、Cu、Zn同位素研究表明其后期成矿作用与岩浆作用相关(Duan *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017),详细的流体包裹体研究证实成矿过程中流体与南侧错那洞穹窿关系密切(Xie *et al.*, 2017).

浅成低温热液型金矿以姐纳各普金矿为代表(董随亮等, 2017).姐纳各普金矿产于蚀变辉绿岩中,矿体受北西—南东向韧性断裂及层间破碎带控制.矿石呈网脉状、角砾状及定向构造.成矿流体属于中低温、低盐度、低密度、富CO₂的H₂O-NaCl-CO₂±CH₄±N₂体系(李洪梁等, 2017).

热泉型矿床以车穷卓布锑矿(郑有业等, 2012)及扎西康晚期锑矿化(孟祥金等, 2008)为代表.该类矿床分布于古热泉或者高热流地区,具热泉型矿石结构构造特征.扎西康富锑矿化赋矿围岩为侏罗系日当组砂质板岩和炭质板岩,受近SN向正断层控制,矿石矿物主要为辉锑矿、闪锌矿,脉石矿物以石英、方解石为主,成矿温度低于200℃,成矿流体为低盐度、低密度成矿流体,与西藏地热水的流体性质相似.

5.2 喜马拉雅金锑铅锌成矿带成矿时代

Pei *et al.*(2016)报道了邦布金矿⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为49.52 Ma,对应的等时线年龄50.3 Ma, Sun *et al.*(2016)获得的含金石英脉中热液绢云母的形成时间为44.8 Ma.喜马拉雅西段的马攸木金矿蚀变绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar坪年龄59.34 Ma(Jiang *et al.*, 2009),表明喜马拉雅造山型金矿形成于青藏高原碰撞造山的主碰撞阶段(侯增谦等, 2006).

带内其他类型的金属矿成矿年代学研究也取得了一些进展,不断有新的成矿年龄报道.周清等(2014)对扎西康早期铅锌矿中黄铁矿Re-Os同位素年代学研究获得的形成时代为45.4 Ma.晚期的富锑矿化则集中于20.48~17.90 Ma(周清等, 2014; Sun *et al.*, 2018).扎西康晚期石英—辉锑矿脉中绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为12.28 Ma(梁维等, 2015),表明扎西康铅锌多金属矿富锑矿化可能持续的时间较长.此外,吉松铅锌矿中与矿脉共生绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为16.6 Ma(梁维和郑远川, 2019);姐纳各普金矿绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为17.6 Ma(董

随亮等, 2017);柯月铅锌矿绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为21.3 Ma(林彬等, 2016);查拉普金矿伊利石⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为18.7 Ma.

以上年代学资料表明,喜马拉雅成矿带成矿事件集中于59~49 Ma和21~12 Ma两个时期.第一期矿化形成于青藏高原强烈的汇聚碰撞造山过程,伴随地壳缩短和峰期变质,产生大量变质流体,并沿深大断裂运移,于应力薄弱部位就位成矿,因此该期可以形成造山型金矿.第二期成矿事件形成于青藏高原后碰撞伸展拆离过程,与大型伸展拆离断裂、片麻岩穹窿构造形成过程中的强烈的深熔花岗质岩浆—流体作用相关,伸展构造—淡色花岗质岩浆活动引发或驱动地热流体循环,沿区域性张性构造空间沉淀成矿(侯增谦等, 2006; 周清等, 2014).在变质核杂岩核部可以形成矽卡岩型/伟晶岩型稀有金属矿床,穹窿周缘拆离断裂及次级断裂中可形成热液脉型铅锌矿,大型南北向断裂中可形成叠加改造型铅锌多金属矿,远离穹窿的淡色花岗质岩浆活动可形成浅成低温热液型金(锑)矿和热泉型锑矿.

5.3 喜马拉雅金锑铅锌成矿带成矿流体类型

通过大量的统计数据分析,并将所有数据投入 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 相图之中,可以发现一些规律:

在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 相图中,可以看出169个H-O同位素数据具有3个端元:A端元为地热水端元,以显示出极低的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值(低于-13‰)和低的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值(<111‰),靠近现代雨水线,完全落入西藏地热水H-O同位素范围(郑淑蕙等, 1982).B端元显示出具有最低的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值(最低至-172‰)和较高的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值(高达12‰),落入建造水的H-O同位素范围内;端元C以邦布金矿和浪卡子金矿为代表,显示出具有极高的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值(高达-43‰)和中等的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值,与造山型金矿氧同位素6‰~13‰(Bierlein and Crowe, 2000)相同,包括了原始岩浆水的范围和部分变质水的范围.

A端元形成的矿床具有极低的成矿温度和盐度,可低至120℃和1.40% NaCleqv(张刚阳, 2012),成矿流体以大气降水为主,建造水和岩浆水的影响非常小,未发生氧同位素的漂移.车穷卓布锑矿是A端元的代表性矿床,主要分布于措美锑矿集区范围内,空间上远离高分异淡色花岗岩及片麻岩穹窿,导致成矿以地热水为主,且形成深度较浅,具有较低的温度和压力条件.

B端元以沙拉岗锑矿为代表,同样具有低温、低

盐度的特征,该类矿床空间上距离片麻岩穹窿核部大于 50 km 的范围,深部岩浆作用对其影响较小.沙拉岗石英中包裹体温度绝大部分小于 200 °C,峰值在 160~190 °C 之间,盐度峰值在 3%~6% NaCleqv (杨竹森等, 2006),属于含微量 CO₂、N₂、CH₄ 气体的低温、低盐度和低密度的 NaCl-H₂O 热液体系 (Pei *et al.*, 2016). 同时, A 端元到 B 端元, δD_{V-SMOW} 值变化幅度相对较小, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值显著增加, 从 -15‰~-13‰ 增加到了 9‰~12‰, 增量达 ~24‰. 这个过程可能是 B 端元矿床成矿流体与变质围岩发生了强烈的水岩反应 (杨竹森等, 2006; Zhai *et al.*, 2014), 使得成矿流体中 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 显著增加.

C 端元形成的矿床包括了两个类型,分别为造山型金矿及岩浆热液矿床.前者以邦布金矿和洗贡金矿为代表,发育于增生杂岩之中,受控于大型的韧性剪切带.因此,该类矿床具有典型的造山型金矿的成矿流体特征,如中低温(集中于 200~260 °C)、中—低盐度(2.2%~9.5% NaCleqv,集中于 4.3%~7.4% NaCleqv),强烈富 CO₂-N₂-CH₄ 的变质流体 (Pei *et al.*, 2016),可能有幔源流体的注入 (Sun *et al.*, 2016).后者以浪卡子金矿为代表,靠近片麻岩穹窿的核部,直接受控于穹窿构造,成矿热液来源于岩浆.因此显示出较高的流体温度(可达 300 °C),主成矿阶段的样品均落于岩浆水的区域,说明岩浆水在主成矿阶段的主导地位,后期向雨水线飘移,可能是大气降水在成矿流体中的比例增加,导致“ $\delta^{18}O$ ”漂移.从 B 端元演化至 C 端元,深部的岩浆流体或者岩石中的变质流体混入成矿热液中,导致氢同位素显著增加,

区带内其他类型的金属矿床成矿流体均位于这 3 个流体端元之间.其中,扎西康铅锌矿是区内最重要的铅锌多金属矿床 (杨竹森等, 2006; 郑有业等, 2012),具有多期次的成矿过程 (Liang *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018),具有较为稳定的氢同位素和变化的氧同位素 (图 2).其氢氧同位素变化范围在端元 A 和端元 B 之间,且早期成矿流体与 B 端元组成几乎相同,显示出岩浆流体的痕迹,晚期富铋成矿流体则更加靠近 B 端元,显示晚期成矿流体中更加富集轻的 $\delta^{18}O$ 值;造成这一结果的一个可能因素为晚期矿石以脉状—网脉状构造、晶洞构造、梳状构造为主,显示了成矿作用发生于张性构造体制下,具有低 $\delta^{18}O$ 值富铋流体注入成矿流体,导致成矿流体的水岩比值增加,形成了晚期的富铋矿化.

从拉木由塔铋金矿流体包裹体的氢氧同位素组成与扎西康几乎完全一致,暗示扎西康和拉木由塔在成矿流体上具有一致的组成和演化过程.

马扎拉金铋矿与扎西康的氢氧同位素特征差异较大,它具有相对稳定的氧同位素, $\delta^{18}O$ 值变化于 7.54‰~16.28‰,以及急剧变化性的氢同位素, δD_{V-SMOW} 变化于 -119‰~-63.1‰ (图 2),其分布介于 B 端元和 C 端元,稍微靠近 C 端元,表明了一种混合的流体成因,可能为变质水与天水的混合. Zhai *et al.* (2014) 计算认为变质水的比例可高达 71%. 同时,马扎拉金铋矿具有反“C”型的分布特征,暗示成矿过程中经历了较强的水岩反应,导致部分样品出现了“氧漂移”.姐纳各普金矿与马扎拉金铋矿一样,具有相似的氧同位素特征 (图 2),但是更加靠近 B 端元,显示大气水在其成矿热液过程中占有的比重极高,混合有少量的岩浆热液 (董随亮等, 2017).

哲古金铋和折木朗金矿具有马扎拉相似的氢氧同位素变化特征,其成矿地质条件也相近,远离同期的区域淡色花岗岩体 (图 1),但其 δD_{V-SMOW} 明显显示出跳跃性,暗示可能具有两期成矿过程,其中早期可能显示出更高热液温度,成矿流体主要为变质水,后期成矿温度降低,受天水影响增强,导致 δD_{V-SMOW} 显著降低.

吉松铅锌矿氢氧同位素组成落于 B、C 端元的中心区域,与错那洞伟晶岩及错那洞电气石脉流体组成相似 (Xie *et al.*, 2017; 图 2),暗示了错那洞岩浆流体在吉松铅锌矿成矿作用中起了关键作用;查拉普金矿成矿流体与吉松铅锌矿及错那洞伟晶岩具有相同的 δD_{V-SMOW} 变化范围,但是具有更高的 $\delta^{18}O$ 值,暗示查拉普金矿经历过更强的水岩反应过程.

邦布金矿和马攸木金矿被认为是喜马拉雅典型的造山型金矿 (Pei *et al.*, 2016). 前者的氢氧同位素值落入变质岩范围内,与典型的造山型金矿具有相同的氢氧同位素范围 (Bierlein and Crowe, 2000),表明其成矿热液以变质热液为主.碳同位素研究显示成矿流体中可能混合了地幔流体 (Sun *et al.*, 2016); 后者的成矿流体 $\delta^{18}O$ 值也与典型的造山型金矿氢氧同位素范围相同 (Bierlein and Crowe, 2000),但马攸木具有更低的 δD_{V-SMOW} 值,可能受到了大气降水的影响 (Jiang *et al.*, 2009).

综上,特提斯喜马拉雅金铋铅锌矿带的矿床成矿流体具有复杂的多元性,单一流体组成的矿床较

少,车穷卓布锑矿最具单一流体成矿的特征,它在成矿空间上靠近南北向断裂,并远离淡色花岗岩,是下渗的大气降水受地热驱动而成矿,勇日锑矿和壤拉锑矿可能也是该类型矿床的代表.带内其他类型的矿床或多或少受到多源流体的共同作用,只是流体混合的比例不同.

6 结论

(1)喜马拉雅成矿带普遍发育大量的金、金锑、锑、锑铅锌多金属矿,其成矿流体均具有中低温、低盐度的特征,集中于两个时期形成,分别为主碰撞造山阶段(59~45 Ma)和后碰撞造山阶段(21~12 Ma),前者以造山型金矿为主,后者发育低温热液型金锑铅锌矿及与淡色花岗岩相关的铍稀有多金属矿.

(2)喜马拉雅带内的不同金属元素富集、不同类型的金属矿床的成矿流体氢氧同位素组成可以分为3个端元,分别为大气降水流体(A端元)、建造水流体(B端元)和岩浆水(变质水)流体(C端元).带内只有少数矿床为单一流体来源,绝大多数矿床氢氧同位素落入3个端元之间,显示出多源混合流体的特征.

附表见本刊官网(<http://www.earth-science.net>).

References

- Bierlein, F. P., Crowe, D. E., 2000. Phanerozoic Orogenic Lode Gold Deposits. *Review of Economic Geology*, 13: 103—139.
- Clayton, R. N., Rex, R. W., Syers, J. K., et al., 1972. Oxygen Isotope Abundance in Quartz from Pacific Pelagic Sediments. *Journal of Geophysical Research*, 77(21): 3907—3915. <https://doi.org/10.1029/jc077i021p03907>
- Dong, S. L., Huang, Y., Li, G. M., et al., 2017. Geology and Mineralization Dating of Jienagepu Gold Deposit in Southern Tibet with Implication from Zhaxikang Pb-Zn-Au-Sb Metallogenic System. *Resources & Industries*, 19(5): 56—64 (in Chinese with English abstract).
- Duan, J. L., Tang, J. X., Lin, B., 2016. Zinc and Lead Isotope Signatures of the Zhaxikang PbZn Deposit, South Tibet: Implications for the Source of the Ore-Forming Metals. *Ore Geology Reviews*, 78: 58—68. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.03.019>
- Fu, J. G., Li, G. M., Wang, G. H., et al., 2018. Establishment of the North Himalayan Double Gneiss Domes: Evidence from Field Identification of the Cuonadong Dome, South Tibet. *Geology in China*, 45(4): 783—802 (in Chinese with English abstract).
- Gao, W., 2006. Study on Geological, Geochemical Characteristics and Genetic Dynamics of Shalagang Antimony Deposit in Southern Tibetan Detachment System (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing, 57—60 (in Chinese with English abstract).
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., et al., 1998. Orogenic Gold Deposits: A Proposed Classification in the Context of Their Crustal Distribution and Relationship to Other Gold Deposit Types. *Ore Geology Reviews*, 13(1—5): 7—27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)
- Guo, C. Y., Zhang, W. Z., Ge, L. S., et al., 2011. Several Questions on Tracing Ore Forming Fluid by Using Hydrogen and Oxygen Isotope System. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 31(3): 41—47 (in Chinese with English abstract).
- Hedenquist, J. W., Lowenstern, J. B., 1994. The Role of Magmas in the Formation of Hydrothermal Ore Deposits. *Nature*, 370(6490): 519—527. <https://doi.org/10.1038/370519a0>
- Hou, Z. Q., Qu, X. M., Yang, Z. S., et al., 2006. Metallogenesis in Tibetan Collisional Orogenic Belt: III. *Mineralization in Post-Collisional Extension Setting. Mineral Deposits*, 25(6): 629—651 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, S. H., Nie, F. J., Hu, P., et al., 2009. Mayum: An Orogenic Gold Deposit in Tibet, China. *Ore Geology Reviews*, 36(1—3): 160—173. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2009.03.006>
- Lee, J., Hacker, B., Wang, Y., 2004. Evolution of North Himalayan Gneiss Domes: Structural and Metamorphic Studies in Mabja Dome, Southern Tibet. *Journal of Structural Geology*, 26(12): 2297—2316. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2004.02.013>
- LeFort, P., 1975. Himalayas-Collided Range—Present Knowledge of Continental Arc. *American Journal of Sciences*, A275: 1—44.
- Li, G. M., Zhang, L. K., Jiao, Y. J., et al., 2017. First Discovery and Implications of Cuonadong Superlarge Be-W-Sn Polymetallic Deposit in Himalayan Metallogenic Belt, Southern Tibet. *Mineral Deposits*, 36(4): 1003—1008 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. J., Wang, Q. F., Yang, L., et al., 2017. Orogenic Gold Deposits Formed in Tibetan Collisional Orogen Setting: Geotectonic Setting, Geological and Geochemical Features. *Acta Petrologica Sinica*, 33(7): 2189—2201 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. L., Li, G. M., Li, Y. X., et al., 2017. A Study on Ore

- Geological Characteristics and Fluid Inclusions of Jienagepu Gold Deposit in Zhaxikang Ore Concentration District, Southern Tibet, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 37(6):684—696 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. F., Mao, J. W., Wang, Y. T., et al., 2003. Evidence of Noble Gas Isotopes and Halogen for the Origin of Ore-Forming Fluids. *Geological Review*, 49(5): 513—521 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. Q., Hou, Z. Q., Nie, F. J., et al., 2005. Characteristic and Distribution of the Partial Melting Layers in the Upper Crust: Evidence from Active Hydrothermal Fluid in the South Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 68—77 (in Chinese with English abstract).
- Liang, W., Hou, Z. Q., Zheng, Y. C., et al., 2018. The Zhaxikang Vein-Type Pb-Zn-Ag-Sb Deposit in Himalayan Orogen, Tibet: Product by Overprinting and Remobilization Processes during Post-Collisional Period. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 92(2): 682—705. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13549>
- Liang, W., Yang, Z. S., Zheng, Y. C., 2015. The Zhaxikang Pb-Zn Polymetallic Deposit: Ar-Ar Age of Sericite and Its Metallogenic Significance. *Acta Geologica Sinica*, 89(3):560—568 (in Chinese with English abstract).
- Liang, W., Zhang, L. K., Xia, X. B., 2018. Geology and Preliminary Mineral Genesis of the Cuonadong W-Sn Polymetallic Deposit, Southern Tibet, China. *Earth Science*, 43(8): 2742—2754 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.154>
- Liang, W., Zheng, Y. C., 2019. Hydrothermal Sericite Ar-Ar Dating of Jisong Pb-Zn Deposit, Southern Tibet. *Geology in China*, 46(1): 126—139 (in Chinese with English abstract).
- Lin, B., Tang, J. X., Zheng, W. B., et al., 2016. A Preliminary Study of Geological Features and Metallogenic Epoch in Keyue Zn-Polymetallic Deposit, Tibet. *Mineral Deposits*, 31(1):33—50 (in Chinese with English abstract).
- Matsuhisa, Y., Goldsmith, J. R., Clayton, R. N., 1979. Oxygen Isotopic Fractionation in the System Quartz-Albite-Anorthite-Water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43(7): 1131—1140. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(79\)90099-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90099-1)
- Meng, X. J., Yang, Z. S., Qi, X. X., et al., 2008. Silicon-Oxygen-Hydrogen Isotopic Compositions of Zaxikang Antimony Polymetallic Deposit in Southern Tibet and Its Responses to the Ore-Controlling Structure. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1649—1655 (in Chinese with English abstract).
- Nie, F. J., Hu, P., Jiang, S. H., et al., 2005. Type and Temporal-Spatial Distribution of Gold and Antimony Deposits (Prospects) in Southern Tibet, China. *Acta Geologica Sinica*, 79(3): 373—385 (in Chinese with English abstract).
- Pei, Y. R., Sun, Q. Z., Zheng, Y. C., et al., 2016. Genesis of the Bangbu Orogenic Gold Deposit, Tibet: Evidence from Fluid Inclusion, Stable Isotopes, and Ar-Ar Geochronology. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 90(2): 722—737. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12700>
- Qi, X. X., Li, T. F., Meng, X. J., et al., 2008. Cenozoic Tectonic Evolution of the Tethyan Himalayan Foreland Fault-Fold Belt in Southern Tibet, and Its Constraint on Antimony-Gold Polymetallic Minerogenesis. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7):1638—1648(in Chinese with English abstract).
- Sun, Q. Z., Zheng, Y. C., Hou, Z. Q., et al., 2013. Genesis of Bangbu Orogenic Gold Deposit in Tibet: Constraints from Fluid Inclusions and Isotopic Composition. *Mineral Deposits*, 32(2): 353—366 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. M., Wei, H. X., Zhai, W., et al., 2016. Fluid Inclusion Geochemistry and Ar-Ar Geochronology of the Cenozoic Bangbu Orogenic Gold Deposit, Southern Tibet, China. *Ore Geology Reviews*, 74: 196—210. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.11.021>
- Sun, X., Zheng, Y. Y., Pirajno, F., et al., 2018. Geology, S-Pb Isotopes, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag Deposit in Southern Tibet: Implications for Multiple Mineralization Events at Zhaxikang. *Mineralium Deposita*, 53(3): 435—458. <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0752-6>
- Suzuoki, T., Epstein, S., 1976. Hydrogen Isotope Fractionation between OH-Bearing Minerals and Water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40(10): 1229—1240. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(76\)90158-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(76)90158-7)
- Taylor, R. P., Fallick, A. E., Breaks, F. W., 1992. Volatile Evolution in Archean Rare-Element Granitic Pegmatites: Evidence from the Hydrogen-Isotopic Composition of Channel H₂O in Beryl. *Canada Mineralogy*, 30(3): 877—893.
- Wang, D., Sun, X., Zheng, Y. Y., et al., 2017. Two Pulses of Mineralization and Genesis of the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag Deposit in Southern Tibet: Constraints from Fe-Zn Isotopes. *Ore Geology Reviews*, 84: 347—363. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.12.030>
- Wen, C. Q., Duo, J., Fan, X. P., et al., 2006. Characteristics of Ore Fluids of the Mayum Gold Deposit, Western Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 25(1): 261—266 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Liu, Z. C., Liu, X. C., et al., 2015. Himalayan

- Leucogranite: Petrogenesis and Implications to Orogenesis and Plateau Uplift. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 1—36 (in Chinese with English abstract).
- Wu, J. Y., Li, G. M., Zhou, Q., et al., 2015. A Preliminary Study of the Metallogenic System in the Zhaxikang Integrated Exploration Area, Southern Tibet. *Geology in China*, 42(6): 1674—1683 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y. L., Li, L. M., Wang, B. G., et al., 2017. Genesis of the Zhaxikang Epithermal Pb-Zn-Sb Deposit in Southern Tibet, China: Evidence for a Magmatic Link. *Ore Geology Reviews*, 80: 891—909. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.08.007>
- Yang, Z. S., Hou, Z. Q., Gao, W., et al., 2006. Metallogenic Characteristics and Genetic Model of Antimony and Gold Deposits in South Tibetan Detachment System. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1377—1391 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Z. S., Hou, Z. Q., Meng, X. J., et al., 2009. Post-Collisional Sb and Au Mineralization Related to the South Tibetan Detachment System, Himalayan Orogen. *Ore Geology Reviews*, 36(1—3): 194—212. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2009.03.005>
- Yin, A., 2001. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen in the Context of Phanerozoic Continental Growth of Asia. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(3): 193—230 (in Chinese).
- Yin, Y., Liang, W., Xie, J. C., 2015. Characteristic of Fluid Inclusions in Jisong Pb-Zn Deposit in South Tibet and Its Geological Significance. *Geoscience*, 29(3): 553—562.
- Zeng, L. S., Gao, L. E., Tang, S. H., et al., 2014. Eocene Magmatism in the Tethyan Himalaya, Southern Tibet. *Geological Society, London, Special Publications*, 412(1): 287—316. <https://doi.org/10.1144/sp412.8>
- Zhai, W., Sun, X. M., Yi, J. Z., et al., 2014. Geology, Geochemistry, and Genesis of Orogenic Gold - Antimony Mineralization in the Himalayan Orogen, South Tibet, China. *Ore Geology Reviews*, 58: 68—90. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.11.001>
- Zhai, Y. S., 1999. On the Metallogenic System. *Earth Science Frontiers*, 6(1): 13—27 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. Y., 2012. Metallogenic Model and Prospecting Potential in Southern Tibet Au-Sb Polymetallic Belt (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 121—126 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. F., 2010. The Genesis Study of Zhaxikang Lead Zinc Antimony Silver Deposit, North Himalayan (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 63—65 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. F., Zheng, Y. Y., Zhang, G. Y., et al., 2010. Genesis of Zhaxikang Pb-Zn-Sb-Ag Deposit in Northern Himalaya: Constraints from Multi-Isotope Geochemistry. *Earth Science*, 35(6): 1000—1011 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2010.113>
- Zhang, L. K., Zhang, Z., Li, G. M., et al., 2018. Rock Assemblage, Structural Characteristics and Genesis Mechanism of the Cuonadong Dome, Tethys Himalaya. *Earth Science*, 43(3): 2664—2683 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.141>
- Zhang, Z. M., Xiang, H., Ding, H. X., et al., 2017. Miocene Orbicular Diorite in East-Central Himalaya: Anatexis, Melt Mixing, and Fractional Crystallization of the Greater Himalayan Sequence. *Geological Society of America Bulletin*, 129(7—8): 869—885. <https://doi.org/10.1130/b31586.1>
- Zheng, S. H., Zhang, Z. F., Nie, B. L., et al., 1982. Hydrogen and Oxygen Isotopic Studies of Thermal Waters in Xizang. *Acta Scientiarum Naturalum Universitatis Pekinensis*, (1): 99—106 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. F., 1993. Calculation of Oxygen Isotope Fractionation in Hydroxyl-Bearing Silicates. *Earth and Planetary Science Letters*, 120(3—4): 247—263. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(93\)90243-3](https://doi.org/10.1016/0012-821x(93)90243-3)
- Zheng, Y. Y., Liu, M. Y., Sun, X., et al., 2012. Type, Discovery Process and Significance of Zhaxikang Antimony Polymetallic Ore Deposit, Tibet. *Earth Science*, 37(5): 1003—1014 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2012.108>
- Zheng, Y. Y., Sun, X., Tian, L. M., et al., 2014. Mineralization, Deposit Type and Metallogenic Age of the Gold Antimony Polymetallic Belt in the Eastern Part of North Himalayan. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(1): 108—118 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q., Li, G. M., Xia, X. B., et al., 2014. Metallogenic Model of the Zhaxikang polymetallic Concentration District, North Himalaya. *Mineral Deposits*, 33(S1): 353—354 (in Chinese).
- Zhou, T. C., Sun, X., Zheng, Y. Y., et al., 2015. Characteristics of Gold-Bearing Minerals and Modes of Occurrence of Gold in Chalapu Gold Deposit, Southern Tibet. *Mineral Deposits*, 34(3): 521—532 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Chung, S. L., Mo, X. X., et al., 2009. The 132 Ma Comei-Bunbury Large Igneous Province: Remnants Identified in Present-Day Southeastern Tibet and Southwestern Australia. *Geology*, 37(7): 583—586. <https://doi.org/10.1130/G27101.1>

doi.org/10.1130/g30001a.1

Zhu, L. K., Gu, X. X., Li, G. Q., et al., 2012. Fluid Inclusions in the Zhaxikang Pb-Zn-Sb Polymetallic Deposit, South Tibet, and Its Geological Significance. *Geoscience*, 26(3): 453–463 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

董随亮, 黄勇, 李光明, 等, 2017. 藏南姐纳各普金矿地质特征及成矿时代约束——对扎西康矿集区铅锌金锑成矿系统的启示. *资源与产业*, 19(5): 56–64.

付建刚, 李光明, 王根厚, 等, 2018. 北喜马拉雅双穹窿构造的建立: 来自藏南错那洞穹窿的厘定. *中国地质*, 45(4): 783–802.

高伟, 2006. 藏南拆离带沙拉岗锑矿床地质地球化学特征及成因机制研究(硕士学位论文). 北京: 中国地质大学, 57–60.

郭春影, 张文钊, 葛良胜, 等, 2011. 氢氧同位素体系成矿流体示踪若干问题. *矿物岩石*, 31(3): 41–47.

侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等, 2006. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用. *矿床地质*, 25(6): 629–651.

李光明, 张林奎, 焦彦杰, 等, 2017. 西藏喜马拉雅成矿带错那洞超大型铍锡钨多金属矿床的发现及意义. *矿床地质*, 36(4): 1003–1008.

李华健, 王庆飞, 杨林, 等, 2017. 青藏高原碰撞造山背景造山型金矿床: 构造背景, 地质及地球化学特征. *岩石学报*, 33(7): 2189–2201.

李洪梁, 李光明, 李应棚, 等, 2017. 藏南扎西康矿集区姐纳各普金矿床地质与流体包裹体特征. *矿物学报*, 37(6): 684–696.

李晓峰, 毛景文, 王义天, 等, 2003. 惰性气体同位素和卤素示踪成矿流体来源. *地质论评*, 49(5): 513–521.

李振清, 侯增谦, 聂凤军, 等, 2005. 藏南上地壳低速高导层的性质与分布: 来自热水流体活动的证据. *地质学报*, 79(1): 68–77.

梁维, 杨竹森, 郑远川, 2015. 藏南扎西康铅锌多金属矿绢云母 Ar-Ar 年龄及其成矿意义. *地质学报*, 89(3): 560–568.

梁维, 张林奎, 夏祥标, 等, 2018. 藏南地区错那洞钨锡多金属矿床地质特征及成因. *地球科学*, 43(8): 2742–2754.

梁维, 郑远川, 2019. 藏南吉松铅锌矿成矿时代的厘定: 热液绢云母 Ar-Ar 年龄. *中国地质*, 46(1): 126–139.

林彬, 唐菊兴, 郑文宝, 等, 2016. 西藏柯月锌多金属矿床地质特征及成矿时代初步研究. *矿床地质*, 31(1): 33–50.

孟祥金, 杨竹森, 戚学祥, 等, 2008. 藏南扎西康锑多金属矿硅—氧—氢同位素组成及其对成矿构造控制的响应. *岩石学报*, 24(7): 1649–1655.

聂凤军, 胡朋, 江思宏, 等, 2005. 藏南地区金和锑矿床(点)类型及其时空分布特征. *地质学报*, 79(3): 373–385.

戚学祥, 李天福, 孟祥金, 等, 2008. 藏南特提斯喜马拉雅前陆断褶带新生代构造演化与锑金多金属成矿作用. *岩石学报*, 24(7): 1638–1648.

孙清钟, 郑远川, 侯增谦, 等, 2013. 西藏邦布石英脉型金矿床的成因: 流体包裹体及氢—氧同位素证据. *矿床地质*, 32(2): 353–366.

温春齐, 多吉, 范小平, 等, 2006. 西藏西部马攸木金矿床成矿流体的特征. *地质通报*, 25(1): 261–266.

吴福元, 刘志超, 刘小驰, 等, 2015. 喜马拉雅淡色花岗岩. *岩石学报*, 31(1): 1–36.

吴建阳, 李光明, 周清, 等, 2015. 藏南扎西康整装勘查区成矿体系初探. *中国地质*, 42(6): 1674–1683.

杨竹森, 侯增谦, 高伟, 等, 2006. 藏南拆离系锑金成矿特征与成因模式. *地质学报*, 80(9): 1377–1391.

尹安, 2001. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化——显生宙亚洲大陆生长. *地球学报*, 22(3): 193–230.

尹远, 梁维, 谢锦程, 等, 2015. 藏南吉松铅锌矿流体包裹体特征及其地质意义. *现代地质*, 29(3): 553–562.

翟裕生, 1999. 论成矿系统. *地学前缘*, 6(1): 13–27.

张刚阳, 2012. 藏南金锑多金属成矿带成矿作用与找矿前景研究(博士学位论文). 武汉: 中国地质大学, 121–126.

张建芳, 2010. 北喜马拉雅扎西康铅锑银矿床成因研究(硕士学位论文). 武汉: 中国地质大学, 63–65.

张建芳, 郑有业, 张刚阳, 等, 2010. 北喜马拉雅扎西康铅锑银矿床成因的多元同位素制约. *地球科学*, 35(6): 1000–1011.

张林奎, 张志, 李光明, 等, 2018. 特提斯喜马拉雅错那洞穹窿的岩石组合、构造特征与成因. *地球科学*, 43(3): 2664–2683.

郑淑蕙, 张知非, 倪葆龄, 等, 1982. 西藏地热水的氢氧稳定同位素研究. *北京大学学报*, (1): 99–106.

郑有业, 刘敏院, 孙祥, 等, 2012. 西藏扎西康锑多金属矿床类型、发现过程及意义. *地球科学*, 37(5): 1003–1014.

郑有业, 孙祥, 田立明, 等, 2014. 北喜马拉雅东段金锑多金属成矿作用、矿床类型与成矿时代. *大地构造与成矿学*, 38(1): 108–118.

周清, 李光明, 夏祥标, 等, 2014. 藏南扎西康铅锌多金属矿集区成矿模式. *矿床地质*, 33(S1): 353–354.

周天成, 孙祥, 郑有业, 等, 2015. 藏南查拉普金矿床载金矿物特征与金的赋存状态. *矿床地质*, 34(3): 521–532.

朱黎宽, 顾雪祥, 李关清, 等, 2012. 藏南扎西康铅锑多金属矿床流体包裹体研究及地质意义. *现代地质*, 26(3): 453–463.

附表 1 特提斯喜马拉雅铅锌金锑成矿带矿床 H-O 同位素统计结果

Appendix table 1 Data of Hydrogen and oxygen isotopes in Tethys Himalayan metallogenic belt

矿床	样号	矿物	矿石类型	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$	文献 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	计算 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	均一温度	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$	资料来源
马扎拉金锑矿	70712	石英	方解石—石英脉	15.58	7.84	7.97	280	-64.3	中国地质大学 (武汉), 2001, 西藏措 美县马扎拉金 锑矿控矿因素 与成矿规律
	62502-1	石英	石英脉	17.15	9.4	9.54	280	-74.1	
	81302	石英	含金石英脉	16.55	9.81	8.94	280	-70.8	
	72609	石英	石英脉	18.7	10.94	11.09	280	-72.6	
	70711	石英	方解石—石英脉	17.26	9.51	9.65	280	-63.1	
	MZL-1	石英	石英—辉锑矿脉	19.3	11.54	11.69	280	-106	Yang <i>et al.</i> , 2009
	MZL-2	石英	石英—辉锑矿脉	19.5	11.73	11.89	280	-108	
	MZL-2.1	石英	石英—辉锑矿脉	17.9	10.15	10.29	280	-104	
	MZL-4	石英	石英—辉锑矿脉	21	13.22	13.39	280	-98	
	MZL-4.1	石英	石英—辉锑矿脉	21.3	13.52	13.69	280	-115	
	MZL-8	石英	石英—辉锑矿脉	20.6	12.83	12.99	280	-119	张刚阳, 2012
	MZL-1	石英	石英—辉锑矿脉	22.5	14.71	14.89	280	-82	
	MZL-2	石英	石英—辉锑矿脉	22.7	14.91	15.09	280	-96	
	MZL-3	石英	石英—辉锑矿脉	22.6	14.81	14.99	280	-88	本文
	MZL11-102	石英	石英—辉锑矿脉	22	13.70	14.39	280	-96.2	
	MZL11-103	石英	石英—辉锑矿脉	22.3	14.39	15.08	290	-85.7	
	MZL11-104	石英	石英—方解石脉	22	13.97	14.67	287	-87.7	
	MZL11-105	石英	石英—辉锑矿脉	21.8	13.33	14.03	276	-100.3	
	MZL11-106	石英	石英—方解石脉	21.9	13.68	14.37	282	-81.1	
	MZL11-107	石英	石英—辉锑矿脉	23	13.84	14.56	260	-103	
	09MZ-1-5	石英	含金石英脉	21.2	11.5	11.52	234	-86.4	Zhai <i>et al.</i> , 2014
	09MZ-1-6	石英	含金石英脉	22	12.6	12.68	241	-76.6	
	09MZ-1-7	石英	含金石英脉	22.1	12.3	12.32	232	-84.6	
	09MZ-1-9	石英	含金石英脉	23.3	13.6	13.62	234	-92.7	
	09MZ-1-13	石英	含金石英脉	19.3	10.1	10.17	245	-78.4	
	09MZ-2-1	石英	含金石英脉	21.9	12.3	12.33	236	-90.1	
	09MZ-2-4	石英	含金石英脉	18.6	7.5	7.54	209	-85.8	
	09MZ-2-7	石英	含金石英脉	25.7	16.2	16.28	239	-104	
	10MZ-127	石英	含金石英脉	23.4	13.7	13.72	234	-72.7	
	10MZ-129	石英	含金石英脉	21.5	11.8	11.82	234	-89.5	
扎西康铅锌多金属矿	ZXK1-13	石英	块状硅质岩	3	-9.4	-8.70	200	-155	孟祥金等, 2008
	ZXK1-10	石英	细条状硅质岩	4	-8.4	-7.70	200	-149	
	ZXK1-8	石英	含空(晶)东层状硅质岩	5	-7.4	-6.70	200	-156	
	ZXK1-7	石英	块状纹层状硅质岩	2.9	-9.4	-8.80	200	-138	
	ZXK2-2	石英	细纹层条带状硅质岩	3.6	-8.8	-8.10	200	-149	
	ZXK06-2	石英	大脉状辉锑矿化硅质岩	-1.3	-13.7	-13.00	200	-142	
	LZ-13	石英	块状硅质岩(顶部)	12.3	-0.1	0.60	200	-156	
	LZ-04	石英	紊乱层状块状硅质岩	9.8	-2.6	-1.90	200	-154	杨竹森等, 2006
	ZXK-2	石英	石英—辉锑矿—闪锌矿脉	1.3	-11.5	-11.47	184	-140	
	ZXK-3	石英	石英—辉锑矿—闪锌矿脉	12.2	-0.2	0.57	201	-152	
	ZXK-5	石英	石英—辉锑矿—闪锌矿脉	12.6	0.2	0.90	200	-	Yang <i>et al.</i> , 2009
	ZXK-7	石英	石英—辉锑矿脉	9.8	-2.6	-1.90	200	-160	
	ZXK-1	石英	石英—辉锑矿—闪锌矿脉	5.8	-6.6	-5.90	200	-	
	ZXK-04-1	石英	石英—辉锑矿脉	2.1	-10.3	-9.60	200	-152	
	ZXK-04-2	石英	石英—辉锑矿脉	2.6	-9.8	-9.10	200	-144	
	ZXK-04-3	石英	石英脉	4	-8.4	-7.70	200	-154	
	ZXK-06-23	石英	石英—黄铁矿脉	11.9	-0.5	0.20	200	-	张建芳等, 2010
	ZXK-PD6-1a	石英	含矿石英脉	21.4	12.4	13.18	265	-155	
	ZXK-PD6-2a	石英	含矿石英脉	20.1	10.8	11.57	258	-165	
	ZXK-PD7-2a	石英	石英脉	15	5.5	6.25	253	-160	
	ZXK-PD5-6a	石英	放射状石英—辉锑矿脉	1.9	-8	-7.28	244	-152	
	ZXK-PD5-8a	石英	放射状石英—辉锑矿脉	2.8	-6.8	-6.09	250	-162	朱黎宽等, 2012
	PD7-BY4	石英	含矿石英脉	1.8	-7.55	-6.82	256	-165	
	PD8-JK3	石英	含矿石英脉	0.8	-8.55	-7.82	256	-165	
	PD8-8	石英	含矿石英脉	-0.8	-10.58	-9.83	247	-163	
	PD8-10	石英	含矿石英脉	-0.7	-10.48	-9.73	247	-164	
	ZTK-3-1	石英	含矿石英脉	2.1	-8.03	-7.27	240	-165	

续附表 1

矿床	样号	矿物	矿石类型	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$	文献 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	计算 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	均一温度	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$	资料来源
扎西康 铅锌多 金属矿	ZXK1066	菱锰	矿脉 (III)	10.9	2.92	2.33	257	-103.6	Xie <i>et al.</i> , 2017
	ZXK1077	菱锰	矿脉 (III)	11.8	3.82	3.23	257	-108.3	
	ZXK1077-1	菱锰	矿脉 (III)	9.9	1.9	1.33	257	-110	
	cb-122	石英	角砾状含菱铁矿脉	1.4		-0.45	548.5	-132	本文
	cb-134	石英	角砾状硫化物矿脉	0.7		-1.15	548.5	-140	
	cb-148	石英	辉锑铅矿—石英脉	9.7		7.85	548.5	-135	
吉松铅 锌矿	JS13-1-1	石英	石英—方解石脉	9.11		2.02	293.3	-98.7	本文
	JS13-2-3	石英	石英—方解石脉	8.75		1.29	283.8	-116.6	
	JS13-2-4	石英	磁铁矿—闪锌矿—石英脉	7.93		0.25	278.3	-114.9	
	JS13-3-4	石英	磁铁矿—闪锌矿—石英脉	8.44		0.87	281	-109.1	
	JS13-5-2	石英	磁铁矿—闪锌矿—石英脉	8.42		1.02	285.5	-113.6	
沙拉岗 锑矿	SLGE-4	石英	石英脉	21.7	9.5	10.19	203	-151	高伟, 2006; 杨竹森等, 2006
	SLG-6	石英	石英—辉锑矿脉	21.3	9.4	10.10	208	-158	
	SLG-17	石英	石英—辉锑矿脉	21.6	12.3	13.03	257	-166	
	SLG-19	石英	石英—毒砂-辉锑矿脉	21.5	11	11.86	236	-160	
沙拉岗 锑矿	09SL-1-5	石英	石英—辉锑矿脉	20.4	9.2	9.20	208	-169.6	Zhai <i>et al.</i> , 2014
	09SL-1-6	石英	石英—辉锑矿脉	20.8	7.5	7.45	176	-171.3	
	09SL-1-7	石英	石英—辉锑矿脉	22.3	10.7	10.60	200	-173.4	
	09SL-1-8	石英	石英—辉锑矿脉	22.4	8.1	8.03	163	-162.9	
	09SL-8-2	石英	石英—辉锑矿脉	20.9	9.9	9.88	211	-173.3	
	09SL-8-3	石英	石英—辉锑矿脉	23.2	11.1	11.05	193	-149.3	
	09SL-8-4	石英	石英—辉锑矿脉	23.4	11.6	11.51	197	-172.8	
	09SL-8-5	石英	石英—辉锑矿脉	21.8	10.7	10.66	209	-162.1	
	09SL-8-6	石英	石英—辉锑矿脉	22.4	10.5	10.44	196	-139.2	
	09SL-8-7	石英	石英—辉锑矿脉	21.3	9.4	9.34	196	-172.5	
拿不龙 锑矿	LL-2	石英	硫化物石英脉	23	14.6	15.31	278	-64	高伟, 2006
	LL-3	石英	石英—硫化物脉	21.1	11.5	12.21	250	-77	
车穷卓 布锑矿	CQ06-2	石英	辉锑矿话硅质岩	-3.5	-15.41	-15.52	195	-160	孟祥金等, 2008
	CQ06-3	石英	辉锑矿化硅质岩	-3.1	-15.01	-15.12	195	-138	
	CQZB09-5	石英	含辉锑矿石英脉	-1.5	-13.43	-13.52	195	-133	张刚阳, 2012
	CQZB09-6	石英	含辉锑矿石英脉	-1.9	-13.83	-13.92	195	-111	
	CQZB09-8	石英	含辉锑矿石英脉	-1.9	-13.83	-13.92	195	-140	
查拉普 金矿	Clp7-0	石英	石英脉	15.9	7.62	7.76	267	-101	张刚阳, 2012
	Clp7-5	石英	石英脉	16	7.72	7.86	267	-106	
	Clp2-1	石英	石英脉	18	9.7	9.86	267	-114	
	Clp2-3	石英	石英脉	17.4	9.11	9.26	267	-124	
浪卡子 金矿	D1-9	石英	石英脉	16.5	3.09	3.22	177	-67	成都理工大 学, 1999, 西 藏浪卡子地区 岩金矿成矿地 质条件、控矿 因素及找矿模 式研究
	D2-9	石英	石英脉	15.3	2.48	2.60	185	-52	
	D3-3	石英	石英脉	16	2.67	2.79	178	-58	
	DIV-4	石英	石英脉	14.4	2.54	2.64	199	-59	
	H1-3	石英	石英脉	14.3	3.18	3.28	211	-58	
	H1-12	石英	石英脉	17.1	6.48	6.60	220	-59	
	Y2-1	石英	石英脉	15.7	6.06	6.16	238	-83	
	TC58	石英	石英脉	15.7	8.76	8.88	301	-80	
	TC204	石英	石英脉	17.4	5.57	5.70	200	-60	
哲古金 锑矿	ZG-3	石英	石英—辉锑矿脉	23.1	11.2	11.40	200	-75	Yang <i>et al.</i> , 2009
	ZG-4	石英	含雄黄石英—辉锑矿脉	17.6	5.77	5.90	200	-73	
	ZG-4.1	石英	石英—辉锑矿脉	23.9	11.99	12.20	200	-76	
	ZG-6	石英	石英—辉锑矿脉	22.8	10.91	11.19	200	-72	
	ZG2-13	石英	石英—辉锑矿脉	14.2	2.41	2.59	200	-118	张刚阳, 2012
	ZG2-14	石英	石英—辉锑矿脉	14.3	2.5	2.69	200	-104	
	ZG2-15	石英	石英—辉锑矿脉	16.3	4.48	4.69	200	-100	
洗贡金 矿	XG10-2	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.5	5.83	6.02	219	-45	张刚阳, 2012
	XG10-3	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.8	6.12	6.32	219	-43	
	XG10-4	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.3	5.63	5.82	219	-51	
	XG-6	石英	碎裂板岩中的石英脉	15.8	5.13	5.32	219	-53	
	XG-7	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.1	5.43	5.62	219	-61	
	XG10-5	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.3	5.63	5.82	219	-59	

续附表 1

矿床	样号	矿物	矿石类型	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$	文献 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	计算 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	均一温度	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$	资料来源
邦布金矿	BB-10-1	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.7	6.03	6.22	219	-61	张刚阳, 2012
	BB-10-2	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.4	5.73	5.92	219	-54	
	BB-10-3	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.8	6.12	6.32	219	-66	
	BB-10-4	石英	碎裂板岩中的石英脉	16.5	5.83	6.02	219	-64	
	BB-2	石英	成矿期含金石英大脉	15.5	4.47	4.58	211.3	-76	孙清钟等, 2013
	BB-6	石英		16	4.96	5.08	211.3	-68	
	BB-16	石英		15.8	4.77	4.88	211.3	-57	
	BB-18	石英		15.5	4.56	4.58	211.3	-55	
	BB-09-3-8	石英		15.8	4.77	4.88	211.3	-55	
	BB-09-3-2	石英		15.6	4.57	4.68	211.3	-49	
	BB-10-3	石英	勾状石英脉	14.7	4.8	4.87	231	-84	Pei <i>et al.</i> , 2016
	BB-10-37	石英	勾状石英脉	14.6	4.7	4.77	231	-75	
	BB-10-1	石英	含金石英脉	16	4.98	5.06	211	-90	
	BB-10-12	石英	含金石英脉	16.6	5.58	5.66	211	-47	
	BB-10-6	石英	南北向石英脉	15.2	4.92	5.00	224	-74	
	BB003	石英	含金石英脉	15	5.4	5.43	236.1	-64.9	Sun <i>et al.</i> , 2016
	BB004	石英		18.2	8.5	8.60	235.4	-44.4	
	BB010	石英		15.9	6.4	6.51	239.6	-59.4	
	BB013	石英	含金石英—硫化物脉	15.6	5.9	6.00	235.4	-49.7	
	BB014	石英	含金石英脉	15.3	6.4	6.42	250.3	-76	
	BB019	石英	含金石英—硫化物脉	17.7	7.6	7.71	227.9	-61.8	
	BB020	石英	含金石英—硫化物脉	16	6.3	6.40	235.4	-61	
	BB025	石英	含金石英—硫化物脉	18.7	9	9.10	235.4	-85.2	
	BB027	石英		15.9	5.9	5.96	229	-75.8	
	BB029	石英	含金石英脉	14.4	4.7	4.80	235.4	-105.3	
	BB032	石英	含金石英脉	15.4	6.1	6.12	242	-38.2	
马攸木金锑矿	MBP-1	石英	金矿化石英脉	15.8	4.42	4.50	205	-87	温春齐等, 2006
	MBP-3	石英		15.7	5.53	5.60	226	-82	
	MBP-10	石英		20.6	11.65	11.71	250	-86	
姐纳各普金锑矿	JN15-1	石英	含金石英脉	20.4	11.4	11.51	250	-128	董随亮等, 2017
	JN15-2	石英	含金石英脉	21.3	12.3	12.41	250	-138.2	
	JN15-3-2	石英	含金石英脉	19.3	10.3	10.41	250	-141.4	
	JN15-3-3	石英	含金石英脉	21.8	12.8	12.91	250	-142.1	
	JN15-4-1	石英	含金石英脉	16.7	7.7	7.81	250	-141.4	
	JN15-4-3	石英	含金石英脉	17.4	8.4	8.51	250	-142.9	
	JN15-4-4	绢云	含金石英—绢云母脉	7.2		3.93	250	-80.35	
	JN15-6-1	绢云	含金石英—绢云母脉	13.3		10.03	250	-81.65	
	JN15-1	绢云	含金石英—绢云母脉	13.5		10.23	250	-92.65	本文
错那洞穹窿伟晶岩及花岗岩	ZXK1103	石英	伟晶岩	11	4.7	-	333	-110	Xie <i>et al.</i> , 2017
	ZXK106-1	绿柱	伟晶岩	9.6	8.89	-	333	-117.7	
	ZXK106-2	绿柱	伟晶岩	9.8	3.5	-	333	-114.5	
	ZXK1084	石英	石英电气石脉	10.2	1.68	-	330	-144	
	ZXK1087	石英	石英电气石脉	12.6	4.08	-	330	-137	
	ZXK1097	石英	石英电气石脉	12.8	4.28	-	330	-142.9	
	ZXK1107	石英	石英电气石脉	11.9	3.38	-	330	-131.7	
	ZXK1108	石英	石英电气石脉	10.3	1.78	-	330	-138.1	
折木朗金矿	2010007	石英	含金石英脉	14.5	6.3	6.40	268	-76.1	张刚阳, 2012
	2010008	石英	含金石英脉	16.4	6.5	6.52	230	-55.3	
	2010014	石英	含金石英脉	14.7	3.8	3.82	212	-36.7	
	2010017	石英	含金石英脉	12.7	2.8	2.82	230	-69	
	2010021	石英	含金石英脉	15.2	4.2	4.26	211	-57.9	
	2010025	石英	含金石英脉	15.9	5.9	5.91	228	-98.6	
	2010027	石英	含金石英脉	15.9	5.9	5.91	228	-107.5	
	2010029	石英	含金石英脉	15.3	3.7	3.69	200	-51.3	
	2010033	石英	含金石英脉	15.6	5.7	5.77	231	-56.3	
	2010034	石英	含金石英脉	18.1	8.2	8.27	231	-87.3	
	2010036	石英	含金石英脉	15.5	5.5	5.51	228	-73.7	
	2010040	石英	含金石英脉	15	5.4	5.48	237	-48.3	
	2010041	石英	含金石英脉	17.2	7.7	7.73	238	-82.1	
	2010042	石英	含金石英脉	16.5	7	7.03	238	-79.5	
	2010043	石英	含金石英脉	14.5	5	5.08	239	-54.7	