

doi: 10.12029/gc20230227001

李阳, 宋扬, 唐菊兴, 陈伟, 孙豪. 2024. 西藏锑矿分布、类型及其成矿规律研究[J]. 中国地质, 51(5): 1570–1600.

Li Yang, Song Yang, Tang Juxing, Chen Wei, Sun Hao. 2024. Distribution, types and metallogenic regularity of antimony deposits in Tibet[J]. Geology in China, 51(5): 1570–1600(in Chinese with English abstract).

西藏锑矿分布、类型及其成矿规律研究

李阳^{1,2}, 宋扬¹, 唐菊兴¹, 陈伟¹, 孙豪¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京), 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:【研究目的】锑是中国战略性矿种之一, 构建新的锑矿资源基地势在必行。本文对西藏地区锑、锑-金、锑-铅-锌等矿床的地质特征、矿床类型、时空分布、成矿物质来源等进行分析与归纳, 初步总结了西藏锑矿的成矿规律, 对指导新一轮找矿突破具有重要意义。【研究方法】文章通过搜集、整理国内外已公开发表的西藏锑矿资料, 结合最新区域地质调查成果, 从地质特征、成因类型、地球化学等方面厘清西藏锑矿床(点)成矿作用与青藏高原形成演化之间的关系。【研究结果】西藏地区锑矿床类型以热液型为主, 矿体主要赋存在碎屑岩和碳酸盐岩围岩中, 地幔物质参与成矿, 成矿时代集中在早白垩世至中新世(20 Ma 左右)。成矿作用主要与碰撞型花岗质岩浆活动和碰撞后伸展期的岩浆作用有关。西藏地区锑矿的分布受各种层状构造、断裂、褶皱等构造联合控制, 赋矿地层为上三叠统和侏罗系—白垩系。【结论】西藏锑矿具有分带性展布特征, 从西向东划分出藏西、藏南、藏北和藏东 4 大锑成矿带。新生代是西藏地区锑矿最重要的成矿期, 青藏高原强烈隆升后的陆内伸展背景有利于锑成矿。根据西藏锑矿成矿特征提出实用性的勘查模型, 为锑矿找矿突破提供科学依据。

关键词: 锑矿; 时空分布规律; 成矿物质来源; 成矿规律; 矿产勘查工程; 西藏

创新点: 系统梳理了西藏地区锑矿的地质背景、成矿时代、化探异常、矿床成因等, 并结合未来勘查找矿方向, 从时间和空间的尺度上总结锑矿成矿规律。

中图分类号: P618.66 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2024)05-1570-31

Distribution, types and metallogenic regularity of antimony deposits in Tibet

LI Yang^{1,2}, SONG Yang¹, TANG Juxing¹, CHEN Wei¹, SUN Hao¹

(1. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] Antimony (Sb) is one of the strategic minerals in China, thus it is imperative to construct a new antimony resource base. This study analyzes and summarizes the geological characteristics, deposit types, spatial and temporal distribution, and ore-forming sources of Sb, Sb-Au, Sb-Pb-Zn deposits in Tibet, and preliminarily summarizes the metallogenic laws of antimony deposits in Tibet, which is of great significance for guiding the new round of ore prospecting breakthroughs. **[Methods]** This paper collected and

收稿日期: 2023-02-27; 改回日期: 2023-07-11

基金项目: 中国地质调查项目(DD20221684、DD20230360)资助。

作者简介: 李阳, 男, 1997 年生, 硕士生, 资源与环境专业; E-mail: yanglicugh@163.com。

通讯作者: 宋扬, 男, 1983 年生, 研究员, 博士生导师, 从事青藏高原铜金锑资源基地评价与研究; E-mail: songyang100@126.com。

investigated the data of Sb deposits in Tibet from published literatures around the world, and combined with the latest regional geological survey results, to clarify the relationship between the mineralization of Sb deposits (prospects) in Tibet and the formation and evolution of the Tibetan Plateau from factors of geological characteristics, genetic types and geochemistry. **[Results]** The Sb deposits in Tibet are mainly of hydrothermal type. The ore bodies are mainly endowed in clastic rocks and carbonate rocks. The mantle materials have contributions to the Sb mineralization. The mineralization age is mainly from the Early Cretaceous to the Miocene (about 20 Ma). The Sb mineralization is mainly related to the collisional granitic magmatism and the post-collisional extensional magmatism. The distribution of Sb deposits in Tibet is controlled by various layered structures, faults, folds and other tectonic structures, and the ore-bearing strata are late Triassic and Jurassic-Cretaceous strata. **[Conclusions]** The Sb deposits in Tibet have the characteristics of zonal distribution, which can be divided into four major Sb metallogenic belts from west to east: western Tibet, southern Tibet, northern Tibet and eastern Tibet. The Cenozoic era is the most important metallogenic period of Sb deposits in Tibet, and the intracontinental extensional background after the strong uplift of the Tibetan Plateau is conducive to the Sb mineralization. According to the metallogenic characteristics of Sb deposits in Tibet, an applicable exploration model is proposed to provide a scientific basis for the prospecting breakthrough of Sb deposits.

Key words: antimony deposit; spatial and temporal distribution regularity; source of ore-forming materials; metallogenic law; mineral exploration engineering; Tibet

Highlights: The geological background, metallogenic age, geochemical anomaly, genesis, and metallogenic age of Sb deposit in Tibet are systematically sorted out, and the metallogenic laws of Sb deposit were summarized from the time and space scale combined with the future prospecting and prospecting direction.

About the first author: LI Yang, male, born in 1997, master candidate, majors in resources and environment; E-mail: yanglicugb@163.com.

About the corresponding author: SONG Yang, male, born in 1983, researcher, doctoral supervisor, engaged in the assessment and exploration of copper, gold, and antimony reserves in Qinghai-Tibet Plateau; E-mail: songyang100@126.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey (No. DD20221684, No. DD20230360).

1 引言

锑是一种易碎、银白色、有光泽的金属,比重为 6.68,熔点为 630.5℃。锑很少作为天然金属出现,因为它对硫和铜、铅和银等其他金属有很强的亲和力,通常存在于硫化物、氧化物、锑酸盐和辉锑矿中(Boyle and Jonasson, 1984; 牛丽贤等, 2012; 孟郁苗等, 2016)。锑自身太容易破碎,无法单独使用,但锑赋予合金强度、硬度和耐腐蚀性,锑还是热和电的不良导体,因此锑(Sb)是现代工业化社会广泛使用的一种重要矿物商品资源(Miller, 1973; Olivier et al., 2003)。高纯度锑可广泛用于高科技行业,生产半导体、远红外器件和电加热器件(《中国矿床》编委会, 1989)。锑的化合物可用于制造弹药、烟花、医药(Anderson, 2012; 张天羽等, 2020)。锑也是一种重要的战略金属资源,因为它在军事、国防工业和新型资源利用等方面都有着难以取代的重要作用,所以近年来一些国家把锑作为重要紧

缺物资加以严格控制、处理和储存,于 2011 年英国地质调查局将其列为世界第一紧缺矿产(UK House of Commons, 2011; European Commission, 2017; 张所续等, 2019)。根据美国地质调查局(USGS)的统计数据,2015 年,中国共开采了 20.1 万 t 锑金属(Liu et al., 2016),占全球产量的 80% 以上,2018 年底,中国已查明的锑金属资源 327.68 万 t,2022 年全球锑矿储量为 180 万 t,2022 年锑矿产量 11 万 t,储采比仅 16 年(中国仅 5.8 年)。锑矿资源分布集中,中国、俄罗斯、玻利维亚三国垄断了全国锑储量的 56%(USGS)。

世界各地的锑矿床主要分布在三个全球构造成矿带:环太平洋带、特提斯—喜马拉雅带和中亚天山带。环太平洋构造成矿带包含了全球近 80% 的锑资源。中国大部分锑矿床也分布在这三大成矿带内,尤其是环太平洋构造成矿带的太平洋西海岸(周艳晶等, 2014; Ding et al., 2021)。锑存在于各种不同类型的矿床中,包括中低温热液脉型、伟晶

岩型和热泉型矿床(Miller, 1973; Zhou et al., 2018; Zhai et al., 2021)。也可按矿石种类分为辉锑矿矿床和复杂多金属矿床(Seal et al., 2017)。近年来世界上开采的锑矿山大部分为石英-辉锑矿矿床, 它可以在几种不同类型的热液系统中形成, 包括造山型金矿的外围部分、侵入相关金矿、斑岩铜和钼矿床、多金属热液脉矿床和沉积型卡林型金矿(Hofstra et al., 2013; Behzad et al., 2019; Aung et al., 2020)。石英-辉锑矿矿床主要分布在中国、俄罗斯、玻利维亚、加拿大和南非。这些国家重要或有代表性的矿床包括锡矿山(中国)、Sarylakh and Sentachan(俄罗斯)、Kharma(玻利维亚)、Beaver Brook and Lake George(加拿大)、以及 Consolidated Murchison(南非)矿床(Seal et al., 2017)。

锑矿是中国传统优势矿种, 但资源现状不容乐观, 已被列为我国 24 种战略性矿产之一。中国锑矿主要赋存在泥盆系、前寒武系、二叠系、三叠系及白垩系等地层中(Zhai et al., 2014; Zeng et al., 2017a, b; Cao et al., 2019; Li et al., 2020; Zhang et al., 2020), 成矿年龄主要集中在印支期、燕山期和喜马拉雅期, 而大规模的成矿作用仅限于侏罗纪至白垩纪(Li et al., 2015, 2019, 2020; Luo et al., 2020; Xing et al., 2022; 郑有业等, 2022)。锑矿床有多种成矿金属和流体来源, 其中前寒武纪基底地层可能是最重要的来源之一。软流圈上升流引起的岩浆活动可能是驱动地下水循环以提取矿化元素的主要诱发因素(王永磊等, 2014; Wang et al., 2017, 2019, 2021; Chen et al., 2020, 2021; Ding et al., 2021)。湖南锡矿山锑矿是中国锑矿的主要来源地, 也是世界主要的锑供应地, 然而已经开采了近一个世纪, 锡矿山锑矿资源日益稀薄(Panov and No, 1989; Wu, 1993; Fan et al., 2004)。因此, 在目前国内外锑资源匮乏的情况下, 寻找锑矿接续勘查基地势在必行。

西藏已探明锑矿资源储量占中国总储量的 16%, 为我国主要锑矿产地之一(Ding et al., 2021)。西藏地区发育扎西康、美多、马扎拉、尕尔西姜、拉诺玛等超大型或大中型锑矿(图 1), 但由于西藏整体地质工作程度较低, 目前对西藏锑矿的成矿规律还没有形成系统的认识, 锑矿成矿与青藏高原形成演化的关系尚不清楚。本文在前人工作的基础上, 形成了西藏锑矿床(点)的矿床地质特征数据库

(表 1), 并对西藏锑矿床的矿床时空分布、类型、控矿要素、成矿规律等进行总结和探讨。旨在进一步厘清西藏锑矿成矿规律, 为助推西藏锑矿找矿突破提供理论依据。

2 区域地质背景

西藏自治区地处青藏高原南部, 夹持于南、北大陆之间的阿尔卑斯—喜马拉雅巨型山链东段, 为特提斯构造域的重要组成部分。西藏地壳的地质演化过程, 可区分为前特提斯时代(元古宙)、原特提斯演化阶段(早古生代泥盆纪)、古特提斯演化阶段(石炭纪—中三叠世)、新特提斯演化阶段(晚三叠世—白垩纪)、高原碰撞造山与隆升阶段(新生代)等 5 个主要构造演化阶段(陈毓川, 1999; 陈毓川和王登红, 2001; 潘桂堂等, 2002, 2009; Pan et al., 2012; Stampfli et al., 2013)。西藏地区由东西走向的喜马拉雅地体、拉萨地体、羌塘地体、松潘—甘孜地体组成, 分别由雅鲁藏布江缝合带(YZS)、班公—怒江缝合带(BNS)、金沙江缝合带(JSSZ)从南到北分开(图 1; Yin and Harrison, 2000)。

地层主要以班公湖—丁青—怒江结合带为界, 北为羌塘—三江构造—地层大区, 南为冈底斯—喜马拉雅构造—地层大区(潘桂堂等, 2009; Wen et al., 2021; Wang et al., 2014)。羌塘—三江构造—地层出露的较老地层为元古界, 中—新生代地层分布范围较广, 三叠系主体为一套次稳定—活动型的海相碎屑岩, 包括碳酸盐岩和基性—中基性火山岩, 但规模一般都不大(马冠卿, 1998; Zhai et al., 2013; Zhang et al., 2014; Li et al., 2015; Chen et al., 2016; Wang et al., 2018; Lu et al., 2019; Ou et al., 2021)。锑矿主要赋存在三叠系碎屑岩和石灰岩夹层中, 如美多锑矿、拉诺玛锑矿等(余金杰, 2001; 张建芳, 2010a)。冈底斯—喜马拉雅构造—地层区内古生界地层广泛分布, 主要为稳定—次稳定的海相碳酸盐岩与碎屑岩沉积组合, 自早奥陶世晚期开始一个重要的构造—岩相变动期: 从早奥陶世潮坪相碎屑岩沉积发展为总体处于海进的海平面上升与下降幅度不大的稳定高频振荡的浅海陆棚相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积, 如更靠近大陆的聂拉木局部更发育碳酸盐岩开阔台地(西藏自治区地质矿产局, 1997; Lee et al., 2000, 2004; 丁林等, 2009; 王启宇等,

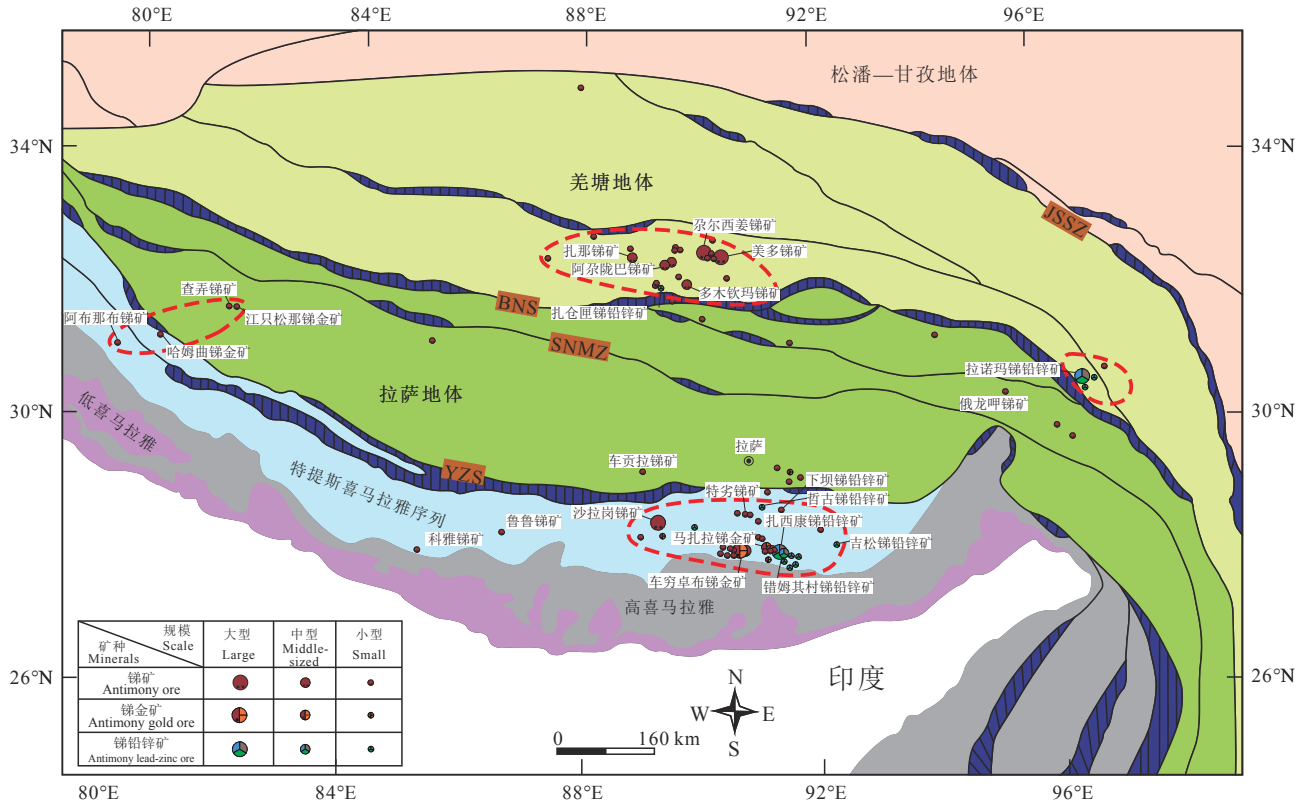


图 1 西藏锑矿床(点)分布图

JSSZ—金沙江缝合带; BSN—班公湖—怒江缝合带; SNMZ—狮泉河—纳木错蛇绿混杂岩带; YZS—雅鲁藏布江缝合带

Fig.1 Distribution map of antimony deposit in Tibet

JSSZ—Jinshajiang suture zone; BSN—Bangong—Nujiang suture zone; SNMZ—Shiquanhe—namtso ophiolitic melanomy zone; YZS—Yarlung Zangbo suture zone

2012; 李志泰等, 2020), 二叠系中发育基性火山岩夹层 (Zhu et al., 2008, 2009; Zhang et al., 2012)。中生代地层也较普遍分布, 古生物化石来源极为丰富, 主体为一套稳定型—次稳定型海相碎屑岩和碳酸盐岩组合, 夹层有基性、中基性火山岩 (Yin and Harrison, 2000; 莫宣学和潘桂棠, 2006); 古近系、新近系在区内分布较广, 新生代亦发育大量的高钾钙碱性火山岩系 (Taylor et al., 2003; Zhang et al., 2012; Wang et al., 2016; 邹光富, 2016)。锑矿主要赋存在三叠系和侏罗系碎屑岩, 夹泥岩和泥灰岩中, 如扎西康锑矿、沙拉岗锑矿等 (郑有业等, 2004, 2022; Wang et al., 2017, 2018; 翟伟等, 2018; Lan et al., 2023)。

构造变形主要包括近东西向的逆冲断层、北东和北西向的平移断层及南北向的正断层 (Clark and Royden, 2000; Dayem et al., 2009)。西藏位于亚洲大陆与印度大陆之间的阿尔卑斯—喜马拉雅巨型

山系的东部, 是中生代以来印度洋扩张、冈瓦纳大陆裂解北移、亚洲大陆与印度大陆多次碰撞拼接的产物 (Dewey et al., 1988; Yin and Harrison, 2000; Pan et al., 2012; Zhu et al., 2013)。尤其在雅鲁藏布江缝合带基本形成以后, 印度板块的北移推覆形成了西瓦里克陆内俯冲带, 这种俯冲作用持续至今 (尹福光, 2003; 潘桂棠等, 2006; 宋绍玮等, 2014; Shui et al., 2018)。同时, 这种向北推挤的驱动力在亚洲古老地体的阻抗之下, 形成了近南北向的主应力场, 使西藏这一近似“刚性”、由多个块体拼合而成的新地体, 受到强大而持续的南北向挤压作用, 产生了极其复杂的构造和强烈变形 (Kohn et al., 2002; Leech et al., 2005; 孙云锴, 2010)。

西藏境内的侵入岩出露广泛, 存在着时间上的多期性, 空间结构上的分带性, 岩体类型的复杂性及其构成条件多样的性质特征, 常形成巨大的复式大岩基带 (Zhu et al., 2011a, b; 丁林等, 2017)。侵入

岩的侵入时期,可划分为加里东期、华力西期、印支期等,尤其以燕山期和喜马拉雅期最为重要(莫宣学等, 2003; 莫宣学, 2011)。各侵入岩带的形成均受控于板块俯冲-碰撞作用和陆内造山运动,具有重熔型、同熔型、混源型以及 A 型等多种类型(Chung et al., 2003, 2005; Hou et al., 2007)。

长期的构造演化使西藏蕴藏了大量金属、非金属和能源矿产,现今共发现 101 个矿种。包括金、银、铂族金属、铜、铅、锌、锑、镁、镍、钨、锡、钼、汞、铬、铁、钛、锰等金属矿产,蓝晶石、红柱石、盐类矿产、石棉、石墨、石膏、高岭石、大理岩、金刚石、刚玉等非金属矿产,以及煤、泥炭、油页岩、石油等能源矿产(陈毓川等, 2010; Tang et al., 2021)。西藏锑矿和锑多金属矿主要集中在藏南、藏北、藏东,在藏西零星分布(图 1)。

3 西藏锑矿带特征

西藏锑矿和锑多金属矿可分为藏北锑矿带、藏南锑矿带、藏东锑矿带和藏西锑矿带,表 1 为西藏地区代表性锑矿床地质特征一览表。

3.1 藏北锑矿带

藏北锑矿带位于班公湖—怒江缝合带以北的南羌塘凹陷中,为 Sb、Au、Cu、Pb、Zn 多金属、煤成矿带,呈 NW 向展布(余金杰, 2001)。迄今已发现锑矿床(点)27 处,其中 3 处为大、中型锑矿床。已圈定出 5 个锑矿化集中区,由东至西分别为美多矿化集中区,阿杂陇巴矿化集中区;扎那(仁玛)矿化集中区;捷入巴尕—阿约纳矿化集中区以及唐抗贡巴矿化集中区(图 2),上述矿集区的锑矿床多分布于盆地边缘和断裂带两侧。矿集区之间大体呈等间距相互分隔开来^④。

藏北锑矿带出露地层有上三叠统土门格拉组、中侏罗统雀莫错组、布曲组、夏里组和白垩系。土门格拉组下部为碳酸盐岩组,上部为碎屑岩组,前者为浅灰色厚层泥晶灰岩、灰黑色厚层生物碎屑灰岩、微晶灰岩等。碎屑岩组岩性变化较大,有灰黑色石英砂岩、岩屑砂岩、厚层粉砂岩、黑色页岩、火山碎屑岩等。中侏罗统岩性为紫色、灰紫色砂岩和石灰岩。白垩系由紫色、紫红色中厚层—厚层砾岩,砂岩夹灰岩组成。在藏北锑矿带,土门格拉组黑—灰色碎屑岩底部的火山碎屑岩层是藏北锑矿

的主要容矿层(余金杰, 2001; 闫升好等, 2003, 2004)。美多锑矿是带内规模最大且最为典型的锑矿床。

藏北美多锑矿位于小唐古拉山南麓,是藏北锑矿带上发现的第一个大型矿床。已获资源量(332+333)Sb 约 273168 t、Ag 约 18122 kg。锑平均品位 4.71%、银平均品位 3.6 g/t。大地构造上位于班公湖—怒江缝合带北侧的羌塘—三江复合板片之色哇陆缘拗陷区域性 NW 向吐错查乌拉大断裂(或小唐古拉山南缘断裂)沿矿带中部穿过(西藏自治区地质矿产局, 1993; 余金杰, 2001; 张磊等, 2016)。受小唐古拉南缘大断裂控制,锑矿产于喜马拉雅期 NE—NNE 向断裂构造。矿区出露地层主要为上三叠统土门格拉群、白垩系。容矿地层为土门格拉群碎屑岩组和碳酸盐岩组,容矿主岩为长石石英砂岩和硅质岩,成矿主要受北东向拉张断裂控制,矿化体和矿体主要赋存于羽状裂隙带内,仅在个别钻孔中见有花岗斑岩和花岗细晶岩(图 3)。矿体呈脉状、层状、似层状、透镜状等产出,长 450~1000 m,厚 5.51~13.95 m。矿石矿物主要为辉锑矿;脉石矿物主要为石英、方解石、毒砂、黄铁矿。矿石构造为浸染状、角砾状、块状和网脉状构造等;矿石结构为晶粒、半自形结构等。近矿蚀变主要为硅化、蛋白石化、碳酸岩化、绢云母化、高岭石化等(闫升好等, 2003, 2004)。美多锑矿为典型的碎屑岩热液型矿床。

3.2 藏南锑矿带

藏南锑矿带位于印度河—雅鲁藏布江缝合带(IYS)与藏南拆离系主拆离面(STDS)之间的特提斯喜马拉雅部分。藏南锑矿带为 Au、Sb、As、Hg、Pb、Zn、Ag、Cd、Cu、Fe 多金属成矿带,区域构造线总体呈 EW 向展布,矿床分布十分广泛、类型比较单一、成矿时代相对集中,燕山晚期—喜马拉雅早期是大规模成矿作用爆发期(聂凤军等, 2005; 周继, 2018; Wang et al., 2019, 2021; 谭军和廖杰, 2021)。根据矿床的空间分布特征,藏南锑矿带自西向东可划分为 6 个矿集区:沙拉岗—得龙矿集区;车穷桌布—壤拉矿集区、哲古矿集区、马扎拉—古堆矿集区、扎西康矿集区;泽当—夏龙岗矿集区等(张志等, 2022)(图 4)。

藏南锑矿带出露地层主要为上三叠统涅如组,

表 1 西藏地区代表性锑矿床 (点) 地质特征一览表
Table 1 Geological characteristics of representative antimony deposits in Tibet

矿床名称	坐标	规模	成矿区带	地层	岩浆岩	矿石矿物	围岩蚀变	矿床类型	成矿时代	参考文献
美多	91°02'32"55'	大型	藏北锑矿带	上三叠统土门格拉组 (T ₃ t) 和白垩系 (K)	英安岩、流纹质凝灰岩和流纹质凝灰角砾岩	辉锑矿、黄铁矿	硅化、蛋白石化、碳酸盐化、绢云母化、高岭石化	碎屑岩热液型	中新世	黄卫等, 2002; 闫升好等, 2004
尕尔西姜	90°52'32"59'	大型	藏北锑矿带	上三叠统波里拉组 (T ₃ b)、上三叠统阿堵拉组 (T ₃ d)	含角砾火山凝灰岩、流纹英安岩	辉锑矿	硅化、碳酸盐化	碎屑岩热液型	中新世	补西川和刘世安, 2018
扎那	89°30'32"58'	中型	藏北锑矿带	上三叠统土门格拉组 (T ₃ t)	矿区内未见岩浆岩出露	辉锑矿	硅化、碳酸盐化、高岭土化	碎屑岩热液型	中新世	西藏地勘局水文工程地质公司, 2008 ^①
阿杂陇巴	90°09'32"53'	中型	藏北锑矿带	上三叠统土门格拉组 (T ₃ t) 和白垩系 (K)	矿区内未见岩浆岩出露	辉锑矿	硅化、碳酸盐化	碎屑岩热液型	中新世	代克刚等, 2013
沙拉岗	89°54'28"51'	中型	藏南锑矿带	白垩系下统多久组、白垩系上统宗卓组	燕冈长岩、辉长岩、辉绿岩岩脉产出	黄铁矿、辉锑矿、辰砂	硅化、毒砂化、碳酸盐化、黄铁矿化	碎屑岩热液型	早白垩世; 中新世	补西川和刘世安, 2018
扎西康	92°00'28"22'	大型	藏南锑矿带	下侏罗统日当组 (J ₁ r) 和上侏罗统维美组玉 (J ₃ w) 和第四系	流纹斑岩、辉绿岩、花岗岩	辉锑矿、硫锑铅矿、辉锑铅矿	硅化、碳酸盐化、黄铁矿化	碎屑岩热液型	25~15 Ma (石英ESR)	张建芳等, 2010
车穷卓布	91°18'28"25'	大型	藏南锑矿带	中生界上三叠统涅如组 (T ₃ n)、下侏罗统日当组 (J ₁ r)、中一下侏罗统陆热组	辉长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩等	辉锑矿、黄铁矿、毒砂、石英、方解石	硅化、碳酸盐化、黄铁矿化	碎屑岩热液型	喜山期	邓舟等, 2019
马扎拉	91°48'28"27'	中型	藏南锑矿带	中下侏罗统陆热组 (J ₂ l)、中侏罗统遮拉组 (J ₂ z) 和上侏罗统唯美组 (J ₃ c)	闪长玢岩、安山岩	辉锑矿、自然金	方解石化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化、硅化	碎屑岩热液型	16.7 Ma	李应翔, 2018

续表 1

矿床名称	坐标	规模	成矿区带	地层	岩浆岩	矿石矿物	围岩蚀变	矿床类型	成矿时代	参考文献
壤拉	91°21'28"24'	中型	藏南锡矿带	下侏罗统日当组 J _{1r} 和上侏罗统维 美组玉 (J _{3w}) 和 第四系 (Q)	辉绿岩和闪长玢 岩脉	辉锑矿、黄铁 矿、辰砂和重晶 石	硅化、碳酸盐化 和泥化	碎屑岩热液型	中新世	张建芳等, 2010;
弄如日	92°13'29"36'	小型	藏南锡矿带	上侏罗一下白垩 统林布宗组 (J _{3KI}) 和第四系 (Q)	晚白垩世钾长花 岗岩、二长花岗 岩以及中新世二 长花岗斑岩等	有辉锑矿、黄铁 矿、毒砂及胶黄 铁矿, 黄铜矿	辉锑矿化、黄铁 矿化、碳酸盐 化、硅化等	碎屑岩热液型	喜山期	游钦, 2015
普容朗	89°30'29"36'	小型	藏南锡矿带	上三叠统涅如 组、宋热组、江 雄组、和第四系	蚀变辉绿玢岩	辉锑矿、黄铁 矿、褐铁矿、毒 砂等	黄铁矿化、绿泥 石化、硅化等	碎屑岩热液型	喜山期	陈文庆和詹勇, 2018
柯月	92°04'28"24'	小型	藏南锡矿带	下侏罗统日当组 (J _{1r})、第四系	辉绿玢岩	闪锌矿、方铅 矿、辉锑矿、黄 铁矿、毒砂	硅化、菱铁菱锰 矿化、黄铁矿化 等	碎屑岩热液型	(135.33±0.62) Ma	杜晓飞等, 2014
哲古措	91°38'28"37'	小型	藏南锡矿带	三叠统嘎波组、 下一中侏罗统日 当组 (J _{1r})	辉绿岩、煌斑岩 和闪长岩脉	黄铁矿、辉锑 矿、自然金和银 银矿	硅化、绿泥石化 和碳酸盐化	碎屑岩热液型	喜山期	曲晓明等, 2003 ^②
古堆	91°53'28"26'	中型	藏南锡矿带	下一中侏罗统日 当组、三叠统朗 杰学群、下白垩 统加丕拉组	辉绿岩、闪长玢 岩和闪长岩脉或 株	黄铁矿、辉锑 矿、自然金和银 金矿	硅化、碳酸盐化 和绿泥石化	碎屑岩热液型	喜山期	曲晓明等, 2003 ^②
山南吉松	92°10'28"09'	小型	藏南锡矿带	古生界热拉岩组 (P _{2r})、三叠系 涅如组 (T _{3n})、 侏罗系日当组 (J _{1r}) 和陆热组	花岗质片麻岩、 闪长岩、闪锌 矿、黄铁矿及辉 绿岩脉	方铅矿、闪锌 矿、黄铁矿及辉 锑矿	绿泥石化及绢英 岩化等	碎屑岩热液型	喜山期	洛桑尖措, 2020
哈姆曲	91°19'28"25'	小型	藏西锡矿带	古近系柳区群 (E _{1-2Lq})、第四 系 (Q)	岩浆岩发育极 少, 少量石英闪 长岩	辉锑矿、黄铁矿 和毒砂	硅化、绢云母 化、绿泥石化	碎屑岩热液型	喜山期	李保亮等, 2022
拉诺玛	97°19'30"47'	大型	藏东锡矿带	上三叠统波里拉 组 (T _{3b})	矿区内未见岩浆 岩出露	辉锑矿、硫锑铅 矿、闪锌矿、方 铅矿等	方解石化、石膏 化、黄铁矿化、 硅化等	碎屑岩热液型	中新世	张民等, 2013

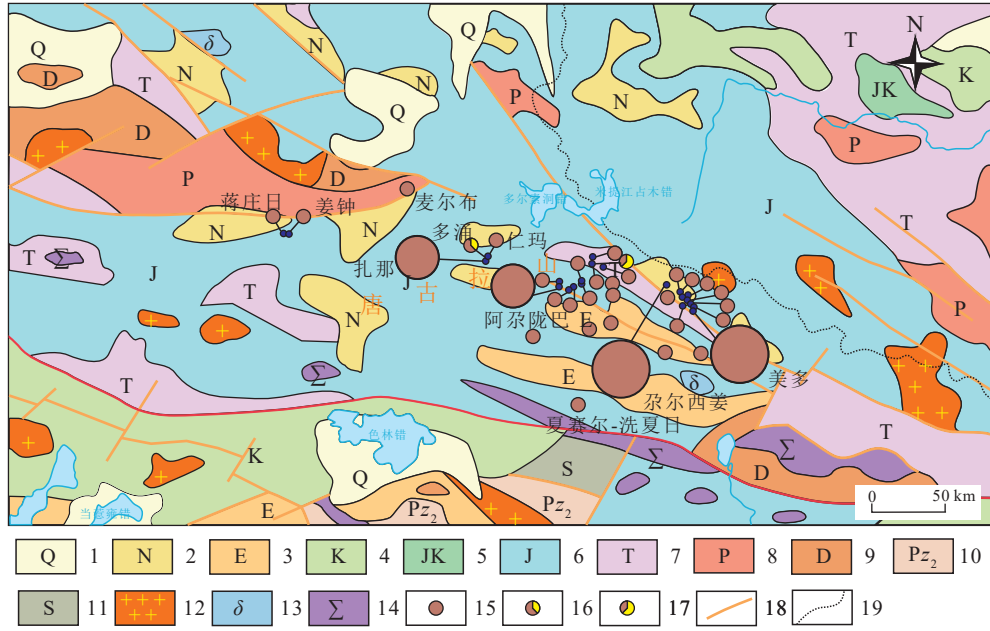


图 2 藏北锑矿带矿产地质图(据王永磊等, 2021)

1—第四系; 2—新近系; 3—古近系; 4—白垩系; 5—侏罗系与白垩系并层; 6—侏罗系; 7—三叠系; 8—二叠系; 9—泥盆系; 10—上古生界(包括二叠系、石炭系、泥盆系); 11—志留系; 12—花岗岩类(包括花岗闪长岩类); 13—闪长岩类; 14—超基性岩类(含蛇绿岩); 15—锑矿; 16—锑金矿; 17—金锑矿; 18—断层; 19—省、自治区界

Fig.2 Mineral geological map of the antimony ore belt in northern Tibet (after Wang Yonglei et al., 2021)

1-Quaternary; 2-Neogene; 3-Paleogene; 4-Cretaceous; 5-Jurassic and Cretaceous costratification; 6-Jurassic; 7-Triassic; 8-Permian; 9-Devonian; 10-Upper Paleozoic (including Permian, Carboniferous, Devonian); 11-Silurian; 12-Granites (including granodiorites); 13-Dioritoid; 14-Ultrabasic rocks (containing ophiolite); 15-Antimony deposit; 16-Aurantimonate; 17-Fault; 18-Boundaries of provinces and autonomous regions

中—下侏罗统日当组、陆热组、遮拉组, 上侏罗统维美组, 上侏罗统—下白垩统桑秀组, 下白垩统甲不拉组, 上述各组岩层中均发育早白垩世辉长辉绿(玢)岩床(墙)群。下侏罗统日当组的含碳钙质板岩夹褐黄色钙质砂岩和绢云母板岩及下白垩统甲不拉组碎屑岩夹硅质岩和灰岩是藏南锑矿的主要赋矿岩段(郑有业等, 2004; 杨竹森等, 2006; 梁维等, 2014; 梁维, 2014)。扎西康锑矿为藏南锑矿带典型矿床。

扎西康矿集区位于特提斯喜马拉雅东段, 是带内铅锌、锑金、稀有金属集中发育的区域, 位于绒布—谷堆断裂和洛扎断裂之间, 其北侧为雅拉香波穹窿, 南侧紧邻藏南拆离系(STDS)(Wang et al., 2021)。已获资源储量 Sb 约 23.5 万 t、Pb、Zn 约 206.6 万 t、Ag 约 2660.6 t、Au 约 14.36 t、伴生 Ga 约 361 t。Sb 平均品位 1.14%、Pb、Zn 平均品位 6.38%、Ag 平均品位 101.64 g/t、Au 平均品位 2.9 g/t(郑有业等, 2022)。矿区地层主要为下侏罗统日当组(J_{1r})、陆热组(J_{1-2l})和上侏罗统维美组(J_{3w})和

第四系(Q)。矿体受近南北向和北东—南西向两组张扭性断裂控制, 区内还发育早白垩世辉长岩、辉绿岩以及始新世淡色花岗岩(图 5; 郑有业等, 2012)。矿石中金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、铅锑硫酸盐矿物、黄铁矿、毒砂, 少量的黄铜矿等, 非金属矿物主要以铁锰碳酸盐矿物、石英及方解石, 少量的白云石、辰砂, 微量绢云母等(梁维等, 2014, 2021; 郑有业等, 2022)。矿石构造主要为块状构造、条带状构造、浸染状构造、网脉状构造、细脉状构造等; 结构主要为自形粒状结构、半自形粒状结构、包含结构、交代结构等矿化。蚀变主要为硅化、黄铁矿化, 硅化(Xie et al., 2017; Wang et al., 2019)。扎西康锑矿为碎屑岩热液型矿床。

3.3 藏东锑矿带

藏东锑矿带位于北羌塘—昌都(普洱)成矿带中(徐志刚等, 2008)。藏东锑矿带总体走向近 SN, 为 Sb、Pb、Zn、Ag、RM 成矿带。出露地层主要为上三叠统甲不拉组、波里拉组、阿堵拉组、夺盖拉组, 上三叠统波里拉组的浅色含砾灰岩、砾状灰岩、细

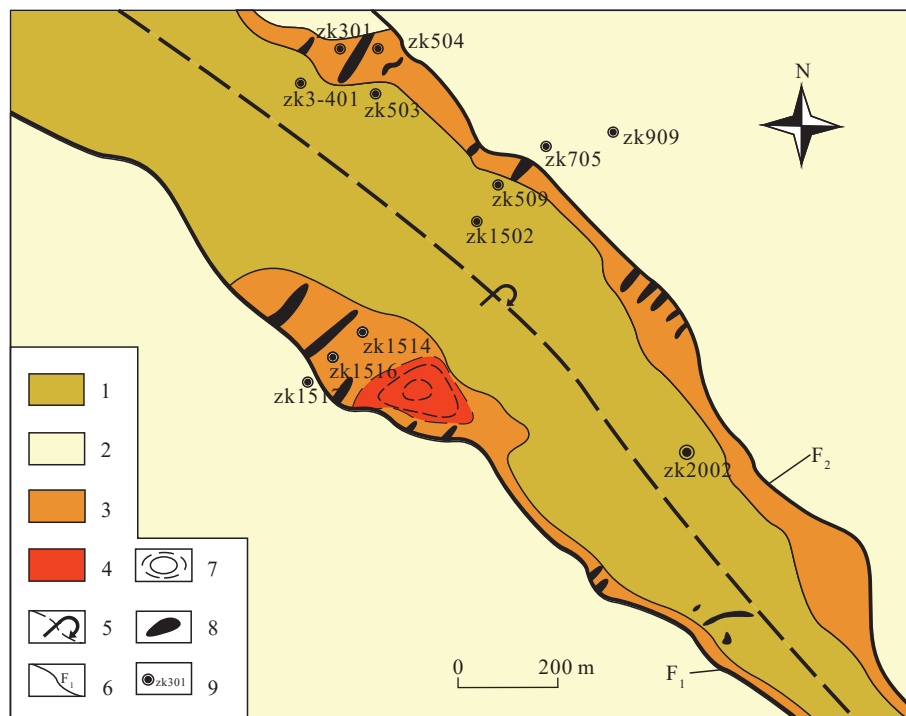


图3 美多锑矿区地质图(据余金杰, 2001)

1—土门格拉群碳酸盐岩; 2—土门格拉群碎屑岩; 3—硅质岩; 4—流纹质凝灰岩; 5—倒转背斜; 6—断层及编号; 7—古火山机构; 8—富锑矿脉; 9—钻孔及编号

Fig.3 Geological map of Meido antimony mine area (after Yu Jinjie, 2001)

1—Carbonate rock of Tumengla Group; 2—Clastic rock of Tumengla Group; 3—Siliceous rock; 4—Rhyolitic tuff; 5—Reverse anticline; 6—Fault and Number; 7—Ancient volcano organization; 8—Antimony-rich vein; 9—Drilling and number

晶灰岩是藏东锑矿的主要赋矿岩层(陶琰等, 2011)。目前在该地区仅发现拉诺玛锑多金属矿床和数个锑矿点(如俄龙呷、鼓多、西巴、云果)(图6)。拉诺玛锑矿为藏东锑矿带典型矿床。

拉诺玛锑铅锌多金属矿床位于西藏自治区昌都县城 160°方向, 吉塘镇北约 10 km 处(周德来等, 2011)。目前已获资源量(333+334)Sb 约 17.27 万 t、Pb 约 21.58 万 t、Zn 约 27.27 万 t、Ag 约 207.64 t(张昌林, 2013)。Sb 平均品位 1.08%, Pb 平均品位 1.73%, Zn 平均品位 3.53%。大地构造位置为三江特提斯构造域北段, 羌塘—昌都微陆块之类乌齐—左贡陆缘山盆地, 矿区内出露的地层为上三叠统甲不拉组上段(T_3j_2)、波里拉组(T_3b)、阿堵拉组(T_3a)、夺盖拉组(T_3d)及第四系(Q)(图7; 刘英超, 2013; Xu et al., 2018)。矿体赋存在上三叠统波里拉组(T_3b)灰岩中。矿体的分布受近南北向断裂的控制, 矿区内未见岩浆岩出露, 矿石矿物主要为闪锌矿、硫锑铅矿、黄铁矿、雌黄矿等, 脉石矿物以方

解石为主, 次有石膏、重晶石、石英、铁白云石等, 结构有晶粒、他形—半自形晶—自形晶、反应边、交代残留、压碎结构; 构造有块状、皮壳状、蜂窝状、稠密浸染状、细脉状、角砾状构造。矿区围岩蚀变较弱, 主要为方解石化、石膏化、黄铁矿化、白云岩化、硅化等热液蚀变(陶琰等, 2010, 2011)。拉诺玛锑矿为典型的碳酸盐岩热液型矿床。

3.4 藏西锑矿带

藏西锑矿带位于冈底斯—念青唐古拉成矿带西侧, 总体走向为 NW—SE 向, 为 Au、Sb、Cu、Au、Fe、Pb、Zn 成矿带, 出露地层由泥盆系、二叠系、石炭系、侏罗系、白垩系、古近系、泥盆系、三叠系、晚侏罗—下白垩统、古近系及第四系构成, 火山岩在时空分布上, 表现出明显的阶段性和带状展布, 以中性—中酸性为主。工作程度较低, 仅发现哈姆曲锑金矿、阿布纳什锑矿、江只松那锑金矿等。

哈姆曲锑矿床大地构造位置上隶属于雅鲁藏

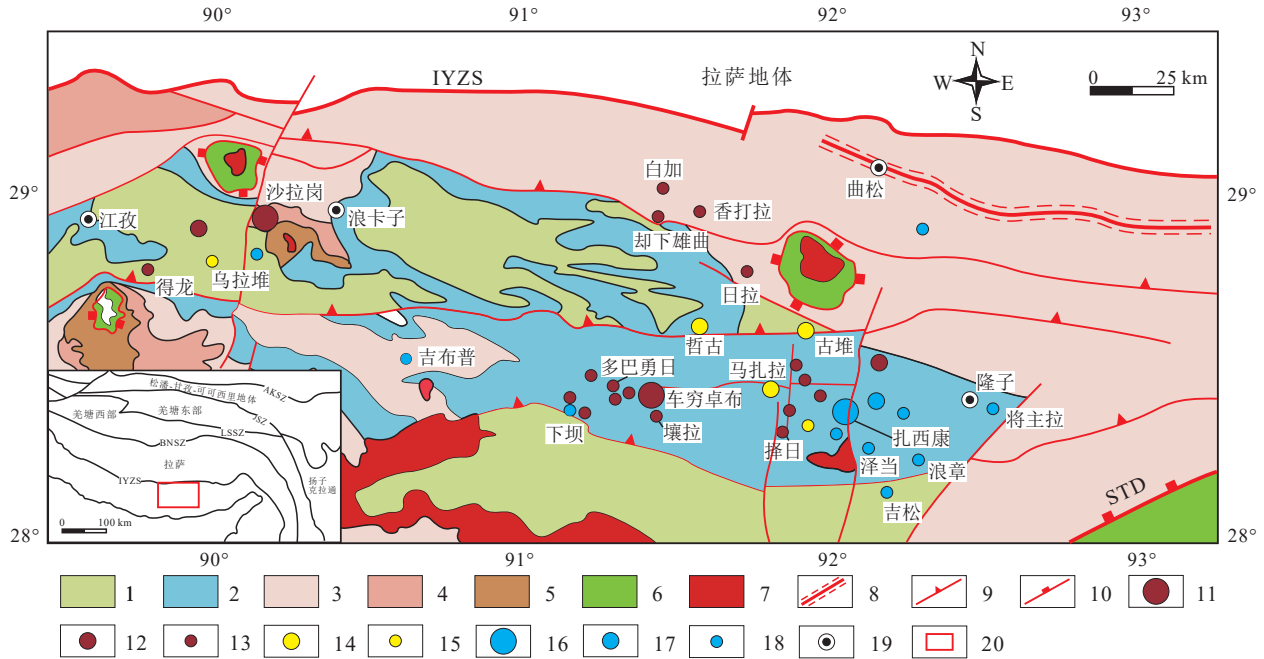


图 4 藏南锑矿带矿产地质图(据 Sun et al., 2016)

1—白垩纪; 2—侏罗纪; 3—晚三叠纪; 4—下中三叠纪; 5—二叠纪; 6—基性侵入体; 7—喜马拉雅淡色花岗岩; 8—韧性剪切带; 9—逆冲断层; 10—拆离断层; 11—大型锑矿; 12—中型锑矿; 13—小型锑矿; 14—中型金锑矿; 15—小型金锑矿; 16—大型锑多金属矿; 17—中型锑多金属矿; 18—小型锑多金属矿; 19—城市; 20—藏南锑矿带; IYZS—印度—雅鲁藏布江缝合带; STD—藏南拆离系; AKSZ—阿尼玛卿—昆仑—木孜塔格缝合带; JSZ—金沙江缝合带; LSSZ—龙木错—双湖缝合带; BNSZ—班公湖—怒江缝合带

Fig.4 Mineral geological map of antimony deposit belt in south Tibet(after Sun et al., 2016)

1—Cretaceous; 2—Jurassic; 3—Late Triassic; 4—Lower Middle Triassic; 5—Permian; 6—Basic intrusive body; 7—Himalayan pale granite; 8—Shear zone; 9—Thrust fault; 10—Detachment fault; 11—Large antimony deposit; 12—Medium antimony deposit; 13—Small antimony deposit; 14—Medium gold antimony deposit; 15—Small gold antimony deposit; 16—Large antimony polymetallic deposit; 17—Medium antimony polymetallic deposit; 18—Small antimony polymetallic deposit; 19—City; 20—Southern Tibetan antimony deposit belt; IYZS—Indus—Yarlung Zangbo Suture; STD—South Tibet Detachment; AKSZ—Animachin—Kunlun Muztagh Suture Zone; JSZ— Jinsha River Suture Zone; LSSZ—Longmu Cuo—Shuanghu Suture Zone; BNSZ—Bangong Lake – Nujiang Suture Zone

布江结合带。区域地层主要出露为泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、古近系及第四系^④。矿体赋存在古近系柳区群的砂砾岩和砂岩中。矿区内除蛇绿混杂岩带内的基性岩外, 区域内岩浆岩发育极少, 在曲珍矿段北部可见总体呈 NW-SE 走向展布, 岩性为糜棱岩化和碎裂角砾化的闪长玢岩及变质橄榄岩(图 8)。曲珍矿段内金属矿物主要为辉锑矿、黄铁矿和毒砂, 次为锑华、褐铁矿等; 非金属矿物主要为石英、白云母、绢云母、绿泥石和绿帘石等。矿石构造以块状、晶簇状为主; 矿石结构以自形、半自形结晶结构为主, 可见碎裂结构、交代结构等。结晶结构主要表现为自形—半自形柱状的辉锑矿、针状毒砂以及他形粒状的黄铁矿; 围岩蚀变类型主要为硅化、绢云母化、绿泥石化和绿帘石化、碳酸盐化等, 蚀变分带特征不太明显(李保亮等, 2022)。哈姆曲锑矿为碎屑岩热液型矿床。

4 成矿物质来源

4.1 硫同位素特征

从西藏典型矿床硫同位素频率分布直方图(图 9a)和硫同位素组成图(图 9b)可以看到, 典型锑、锑铅锌多金属矿床的硫同位素组成主要可分为两类。第一类是以扎西康、柯月为代表的锑铅锌多金属矿床, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 峰值在 9‰~12‰, 与其所在研究区的赋矿地层日当组(4.9‰~11.5‰)相似(张刚阳等, 2011), 表明地层物质显然参加了矿床的成矿过程(Sun et al., 2017; Zhou et al., 2017)。第二类是以拉诺玛、车穷卓布、拉琼、哲古、拉木由塔、沙拉岗和马扎拉、哈姆曲等锑矿床为代表, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 峰值在 -6.6‰~2.6‰, 基本都在 0 附近, 与扎西康、柯月多金属矿床存在明显区别(图 7), 具有岩浆硫的特征, 指示成矿与岩浆作用密切相关(Ohmoto, 1972; Zhou

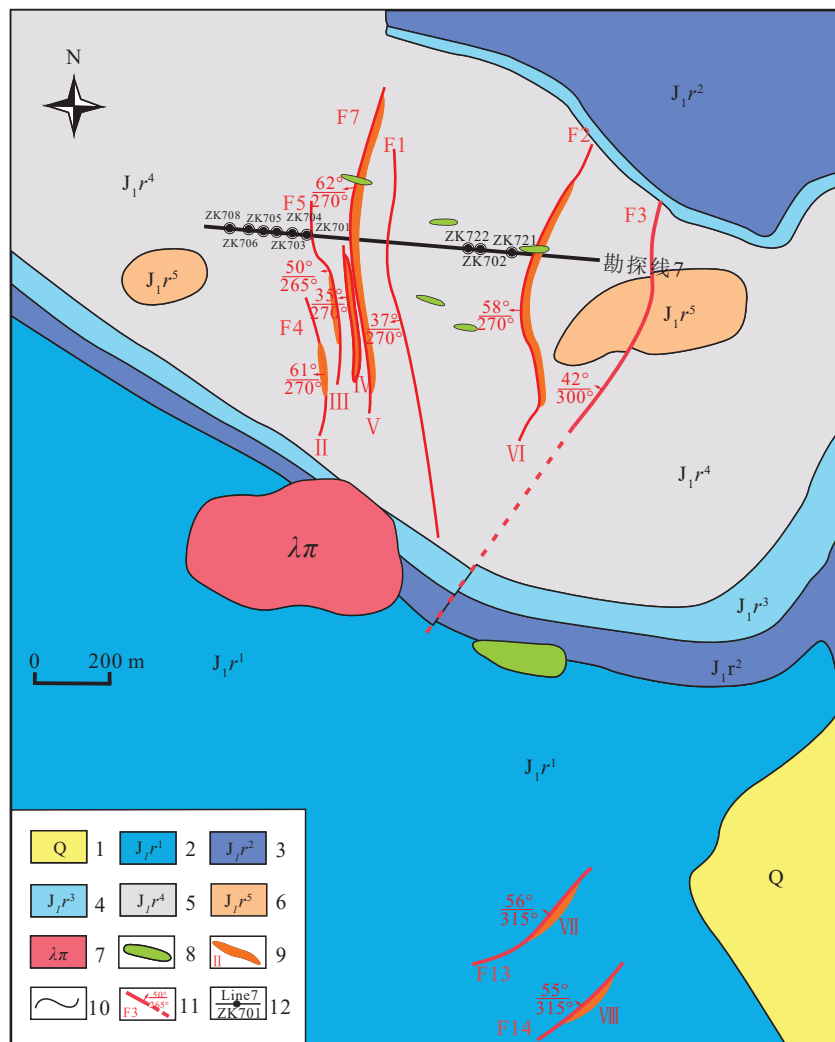


图5 扎西康锑多金属矿床地质图(据郑有业等, 2022)

1—第四系; 2—日当组第一岩性段; 3—日当组第二岩性段; 4—日当组第三岩性段; 5—日当组第四岩性段; 6—日当组第五岩性段; 7—流纹斑岩; 8—辉绿岩脉; 9—矿体及编号; 10—地质边界; 11—断层编号; 12—勘探线和钻孔编号

Fig.5 Geological map of Zaxikang antimony polymetallic deposit (after Zheng Youye et al., 2022)

1—Quaternary; 2—The first lithological section of Ridang Formation; 3—The second lithological section of Ridang Formation; 4—The third lithologic section of Ridang Formation; 5—The fourth lithological section of Ridang Formation; 6—The fifth lithological section of Ridang Formation; 7—Rhyolite porphyry; 8—Diabase vein; 9—Ore body and number; 10—Geological boundary; 11—Fault number; 12—Exploration line and borehole number

et al., 2017; 邓舟等, 2019)。藏北美多锑矿 $\delta^{34}\text{S}$ 存在较大负值, 而产生这种情况的原因可能是由于地表大气降水增加, 从而使成矿流体温度下降、氧逸度升高, 使得成矿流体中 HS^- 或 H_2S 被氧化成 HSO_4^- 和(或) SO_4^{2-} (Ohmoto et al., 1972; Seal et al., 2017)。

金属硫化物硫同位素组成对锑成矿金属组合类型的识别具有重要指示意义。从成矿元素组成方面来看, 西藏锑、锑金矿床的硫主要为岩浆来源, 而锑铅锌矿床的硫来源说明有地层参与成矿。

4.2 铅同位素特征

从西藏典型锑和锑多金属矿床铅同位素构造演化图解(图10)中可发现, 沙拉岗、拉木由塔、车穷卓布锑矿床以及柯月锑铅锌多金属矿床的样品点几乎全部分布于上地壳演化曲线上, 指示其铅的来源均为上地壳物质; 扎西康锑铅锌多金属矿床的铅同位素绝大部分位于上地壳铅演化线附近, 少量样品位于造山带演化曲线附近(图10), 指示扎西康矿床铅主要来源于上地壳, 同时有少量幔源铅的混入; 洗贡、哲古、哈姆曲锑矿床的铅同位素主要位于

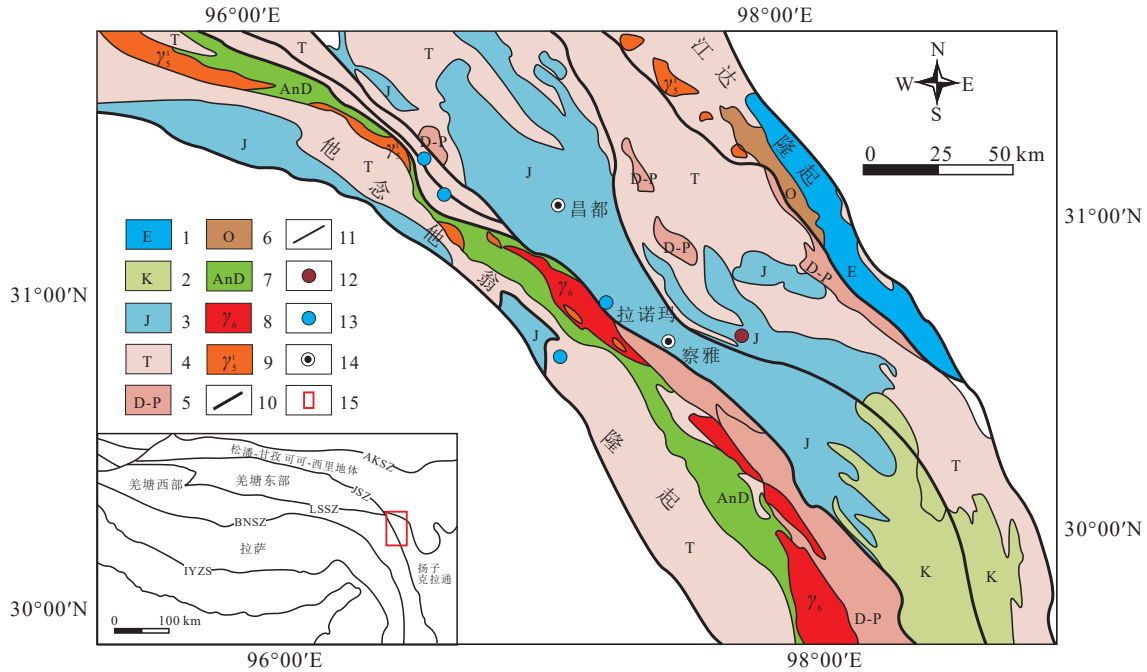


图 6 藏东锑矿带矿产地质图(据陶琰等, 2011)

1—古近系—新近系; 2—白垩系; 3—侏罗系; 4—三叠系; 5—泥盆系—二叠系; 6—奥陶系; 7—基性侵入体; 8—新生代花岗岩; 9—印支期花岗岩; 10—断层; 11—地质界限; 12—锑矿; 13—锑多金属矿; 14—城市; 15—藏东锑矿带; AKSZ—阿尼玛卿—昆仑—木孜塔格缝合带; JSZ—金沙江缝合带; LSSZ—龙木错—双湖缝合带; BNSZ—班公湖—怒江缝合带; IYZS—印度—雅鲁藏布江缝合带

Fig.6 Mineral geological map of antimony ore belt in eastern Tibet (after Tao Yan et al., 2011)

1—Palaogene—Neogene; 2—Cretaceous; 3—Jurassic; 4—Triassic; 5—Devonian—Permian; 6—Ordovician; 7—Basic intrusive body; 8—Cenozoic granite; 9—Indochinese granite; 10—Fault; 11—Geological boundary; 12—Antimony deposit; 13—Antimony polymetallic ore; 14—City; 15—Eastern Tibetan antimony ore belt; STD—South Tibet Detachment; AKSZ—Animachin—Kunlun Muztagh Suture Zone; JSZ—Jinsha River Suture Zone; LSSZ—Longmu Cuo—Shuanghu Suture Zone; BNSZ—Bangong Lake—Nujiang Suture Zone; IYZS—Indus—Yarlung Zangbo Suture

造山带与地幔演化线之间, 显示幔源物质明显参与成矿的特征。

西藏主要矿床铅同位素组成特征表明, 藏南锑矿床成矿物质来源以上地壳物质为主, 并伴有少量幔源物质的加入; 藏北锑矿铅主要是岩浆来源, 成矿作用与造山作用有一定联系, 而与上地壳源无关。通过对比湖南锡矿山铅同位素组成 (Pavlova and Borisenko, 2009), 锡矿山铅的来源非单一来源, 以上地壳来源为主, 并伴有幔源物质加入。锡矿山锑矿为典型碳酸盐岩热液型矿床, 西藏藏东拉诺玛与其矿床类型一致, 本文认为西藏锑成矿过程中普遍有岩浆热液的参与。综上所述, 西藏锑矿成矿物质具明显的幔源或壳幔混源特色, 显示极其强烈的壳幔物质和能量大交换。

4.3 氢氧同位素特征

从西藏典型锑和锑多金属矿床成矿流体氢氧同位素组成图(图 11)中可发现, 马扎拉和哲古等锑

金矿的成矿流体 H-O 同位素特征变化较大, 分布于建造水与岩浆水和变质水之间, 显示成矿流体中存较多的建造水、变质水混合的特征。沙拉岗锑矿含辉锑矿石英脉中包裹体的 H-O 同位素分布于建造水范围内, 指示成矿流体来源于沉积地层。车穷卓布锑矿的成矿流体中 H-O 同位素相对亏损, 分布于西藏地热水范围内, 稍稍偏向建造水范围。美多锑矿、扎西康锑多金属矿含矿矿石中流体包裹体氢氧同位素范围较宽, 从建造水一直演化到西藏地热水范围, 所以成矿流体主要为大气降水下渗循环构成的地热水。

氢氧同位素表明西藏锑矿和锑铅锌多金属矿的成矿流体主要为建造水和地热水不同程度的混合, 缺乏岩浆水和变质水的参与。锑矿和锑铅锌多金属矿的成矿流体没有变质流体和岩浆流体的特征, 主要分布在建造水和地热水的范围内或二者之间。金锑矿主要分布在建造水与岩浆水和变质水之间。



图7 拉诺玛锑铅锌多金属矿区地质略图(据陶琰等, 2011)

1—第四系; 2—夺盖拉组砂质页岩夹砂岩; 3—阿堵拉组砂质页岩夹砂岩; 4—波里拉组灰岩; 5—甲丕拉组砂岩夹页岩灰岩; 6—石膏层; 7—矿化蚀变带; 8—断层破碎带; 9—断裂及编号; 10—矿体及编号; 11—勘探线及编号; 12—采矿坑号及编号

Fig.7 Geological sketch of La Nooma antimony lead zinc polymetallic mining area (after Tao Yan et al., 2011)

1—Quaternary; 2—Duogaila Formation sandy shale sandstone; 3—Adula Formation sandy shale sandstone; 4—Bolila Formation limestone; 5—Jiapila Formation sandstone with shale limestone; 6—Gypsum layer; 7—Mineralized alteration zone; 8—Fault fracture zone; 9—Fracture and number; 10—Ore body and number; 11—Exploration line and number; 12—Mining pit number and number

5 讨论

5.1 西藏锑矿成因类型

在全球范围内, 锑矿床普遍属于受断裂构造控制的中低温热液矿床(张国林等, 1998; Dill, 1998; Xie et al., 2017; Zhou et al., 2017), 长期以来, 锑矿床主要按其矿体产出形态分为热液层状锑矿床和热液脉状锑矿床两大类(王永磊等, 2014; Evangelos et al., 2020)。贵州冶金地质勘探公司情报资料组

(1982)将国内外锑矿床综合为 11 类: ①碳酸盐地层中层状锑矿床; ②碳酸盐地层中层状汞锑矿床; ③火山沉积岩地层中层状锑矿床; ④中低温热液交错型脉状锑矿床; ⑤中低温热液金锑矿床; ⑥中低温热液金、锑、钨矿床; ⑦中低温热液汞、锑、钨矿床; ⑧中低温热液锑钨矿床; ⑨中低温热液铅、锌、锑多金属矿床; ⑩火山气液锑汞矿床; ⑪温泉型矿床。《中国矿床》编委会(1989)将中国锑矿床分为 7 类: ①碳酸盐岩型锑矿床; ②碎屑岩型锑矿床;

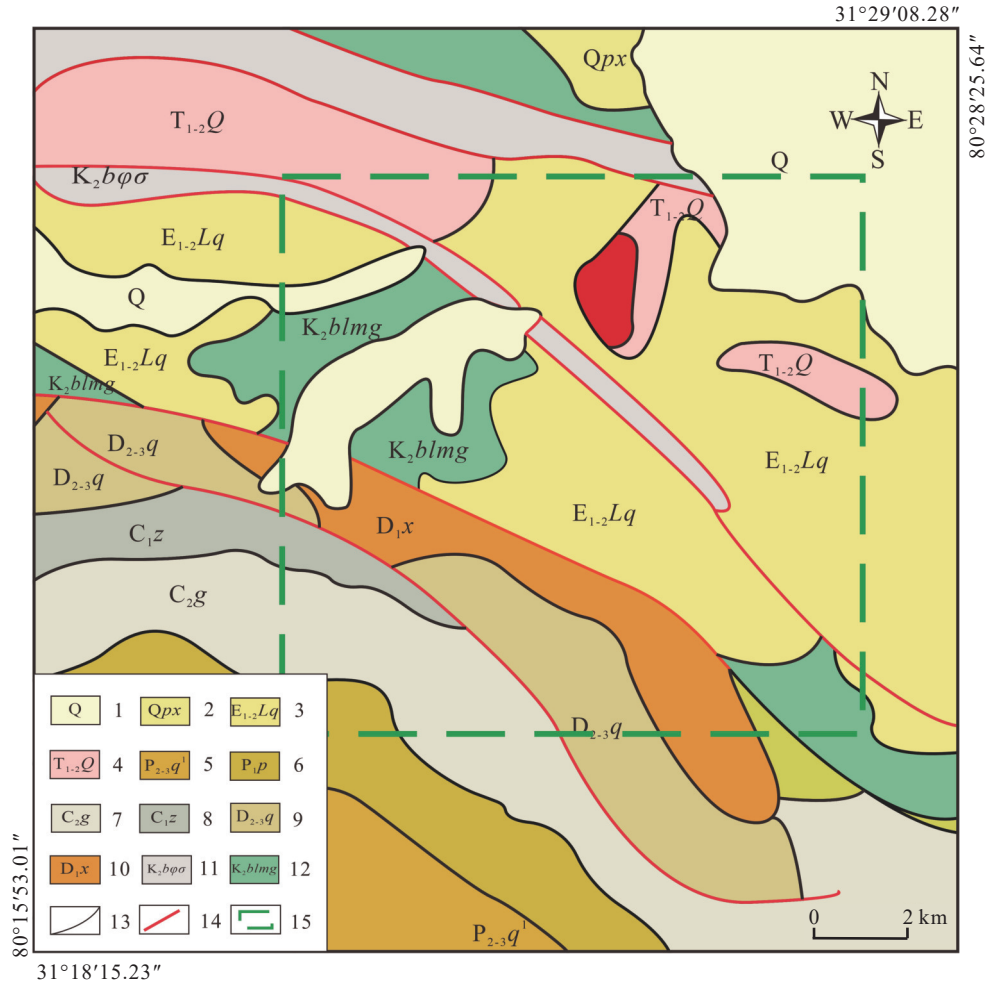


图 8 哈姆曲锑(金)矿区域地质简图(据李关清等, 2011^⑥)

1—第四系沉积物; 2—第四系香孜组; 3—古近系柳区群; 4—三叠系穷果组; 5—三叠系曲噶组; 6—二叠系普次丁组; 7—石炭系滚江浦组; 8—石炭系哲弄组; 9—泥盆系曲门下拉组; 10—泥盆系先钦组; 11—扎郎混杂岩; 12—你扎混杂岩; 13—地质界限; 14—断层; 15—矿区范围

Fig.8 Regional geological map of Hamqu Antimony (gold) deposit (after Li Guanqing et al., 2011^⑥)

1-Quaternary sediments; 2-Quaternary Xiangzi Formation; 3-Palaeogene Liuqu Group; 4-Triassic Qiongguo Formation; 5-Triassic Quga Formation; 6-Permian Puciding Formation; 7-Carboniferous Gunjiangpu Formation; 8-Carboniferous Zhenong Formation; 9-Devonian Qumexiala Formation; 10-Devonian Xianqin Formation; 11-Zhalang melange; 12-Nizha melange; 13-Geological boundary; 14-Fault; 15-Mining area

③浅变质岩型锑矿床; ④海相火山岩型锑矿床; ⑤陆相火山岩型锑矿床; ⑥岩浆期后型锑矿床; ⑦外生堆积型锑矿床。中国有色金属工业总公司地质勘查总局(1996)将中国锑矿床的成因类型划分为 6 类^⑥, 即: ①沉积改造型锑矿床; ②喷流沉积改造型锑矿床; ③火山沉积改造型锑矿床; ④沉积变质再造型锑矿床; ⑤岩浆热液充填型锑矿床; ⑥表生堆积型锑矿床。赵一鸣等(2004)则将中国锑矿床分为热液层带型、热液脉型、岩浆热液型及砂矿型。全国矿产资源潜力评价项目成矿规律组(陈毓川等, 2010)将中国锑矿床分为 4 大预测类型: 岩浆

热液型、碳酸盐地层中热液型、碎屑岩地层中热液型、火山热液型(包括海相和陆相火山岩)。在前人工作基础上, 本文采用全国矿产资源潜力评价项目成矿规律组的分类, 中国西藏地区以碎屑岩热液型为主, 其次为碳酸盐岩热液型。

碎屑岩热液型矿床多位于古隆起边缘或隆坳过渡带。该类型的含矿岩石主要为位于海岸、陆缘凹陷盆地的浅海碎屑岩(丁建华等, 2013; 王永磊等, 2013; Ding et al., 2021)。岩性包括泥岩、粉砂岩、细砂岩和火山碎屑岩, 通常与灰岩层互层。锑矿化通常与区域深切断裂密切相关。矿体多呈层状、脉

状,产于碎屑与砂质碳酸盐岩过渡带或不整合面以上的断裂带中(李金高, 2002; 梁维等, 2014, 2021)。成矿物质主要来源于源地层(张建芳等, 2011),并与一些深部源含矿热液流体叠加(郑有业等, 2022)。这些矿床通常是大型或中型规模。藏南锑矿带、藏北锑矿带锑矿床都为碎屑岩热液型矿床,美多锑矿床、扎西康锑矿床等是典型的矿床类型。

碳酸盐岩热液型矿床通常位于造山带的边缘或由褶皱和断裂控制的隆起带的沉降盆地(《中国矿床》编委会, 1989; 肖启明等, 1992)。含矿岩石主要为不纯碳酸盐岩,如灰岩、白云岩、白云岩灰岩、生物碎屑灰岩等。围岩蚀变以硅化和碳酸化为主,其次为萤石化和黏土化的叠加。矿石矿物组合简单,由辉锑矿+石英±黄铁矿±方解石±朱砂矿组成(张昌林, 2013)。成矿金属主要来源于基底和围岩等矿源层,但少数岩脉表明,基性岩可能通过提供幔源成矿流体而位于这些矿床的深部,成矿流体驱动机制包括上部重力驱动及深部构造岩浆活动热源驱动形成的大规模成矿流体流动体系,成矿物质

在地壳浅部开放空间沉淀成矿(陶琰等, 2011)。这种类型的矿床通常是大型或超大型规模。藏东昌都拉诺玛锑矿床是典型的矿床类型。

同一类型的锑矿床可能出现在不同锑矿带,而一个锑矿带也可完全出现多种类型的锑矿床,截至2022年,西藏地区累计查明锑矿床(点)93个。碎屑岩热液型锑矿床资源储量占比达90%以上,集中分布于藏北、藏南、藏西锑矿带;碳酸盐岩热液型锑矿床资源储量占比不足10%,仅分布在藏东锑矿带。

5.2 西藏锑矿成矿时代

本文系统梳理前人在西藏地区锑矿年代学资料,藏北锑矿以美多锑矿为代表,对辉锑矿进行Rb-Sr法测定,获得成矿年龄为(20.2±1.8) Ma;对辉锑矿脉中的石英包裹体³⁹Ar/⁴⁰Ar快中子活化法获得年龄为(19.42±0.24) Ma,两法获得的结果相当接近,均显示美多矿床成矿于新近纪。藏南锑矿年龄以扎西康锑矿为代表,对与石英-黄铁矿共生的含铬绢云母进行⁴⁰Ar/³⁹Ar快中子活化法获得年龄为(17.9±0.5) Ma,与美多矿床的辉锑矿年龄也颇相近

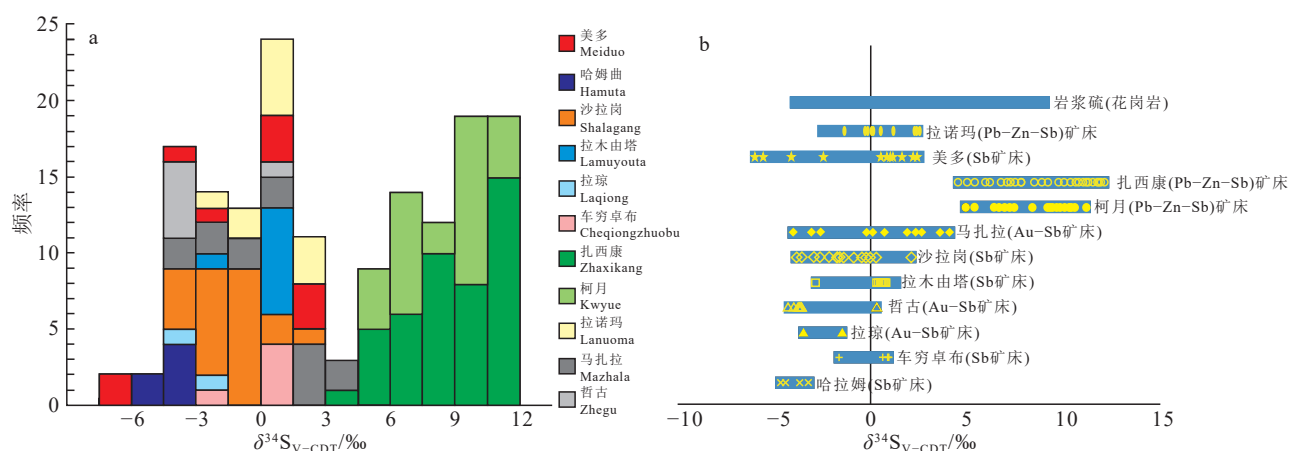


图9 西藏典型矿床硫同位素频率分布直方图(a)和硫同位素组成图(b)

美多锑矿床数据引自闫升好等, 2004; 沙拉岗锑矿床数据引自李金高等, 2002; 戚学祥等, 2008; Yang et al., 2009; 拉木由塔锑矿床数据引自杜泽忠等, 2011; 拉琼金锑矿床数据引自戚学祥等, 2008; 边巴仁青等, 2019; 车穷卓布锑矿床数据引自戚学祥等, 2008; 邓舟等, 2019; 扎西康锑铅锌多金属矿床数据引自 Yang et al., 2009; 张建芳等, 2010; Sun et al., 2018; 马扎拉锑金矿床数据引自杨竹森等, 2006; 张刚阳等, 2011; 谢玉玲等, 2019; 哲古金锑矿床数据引自 Yang et al., 2009; 柯月锑铅锌多金属矿床数据引自阿旺加措等, 2017; 缪华清等, 2017; 拉诺玛锑铅锌多金属矿床数据引自陶琰, 2011; 哈姆曲锑矿床数据引自李保亮等, 2022

Fig.9 Histogram of sulfur isotope frequency distribution of typical deposits in Tibet (a) and sulfur isotopic composition (b) Meiduo antimony deposit data from Yan Shenghao et al., 2004; Shalagang antimony deposit data from Li Jingao et al., 2002; Qi Xuexiang et al., 2008; Yang et al., 2009; Lamuyouta antimony deposit data from Du Zezhong et al., 2011; Laqiong gold-antimony deposit data from Qi Xuexiang et al., 2008; Bianba Renqing et al., 2019; Cheqiongzhuobu antimony deposit data from Qi Xuexiang et al., 2008; Deng Zhou et al., 2019; Zhaxikang lead-zinc-antimony polymetallic deposit from Yang et al., 2009; Zhang Gangyang et al., 2010; Sun et al., 2018; Mazhala antimony-gold deposit data from Yang Zhusen et al., 2006; Zhang Gangyang et al., 2011; Xie Yuling et al., 2019; Zhegu old-antimony deposit data from Yang et al., 2009; Keyue lead-zinc-antimony polymetallic deposit data from A Wangjia Cuo et al., 2017; Miao Huaqing et al., 2017; Lanuoma lead-zinc-antimony polymetallic deposit data from Tao Yan, 2011; Hamuqu antimony deposit data from Li Baoliang et al., 2022

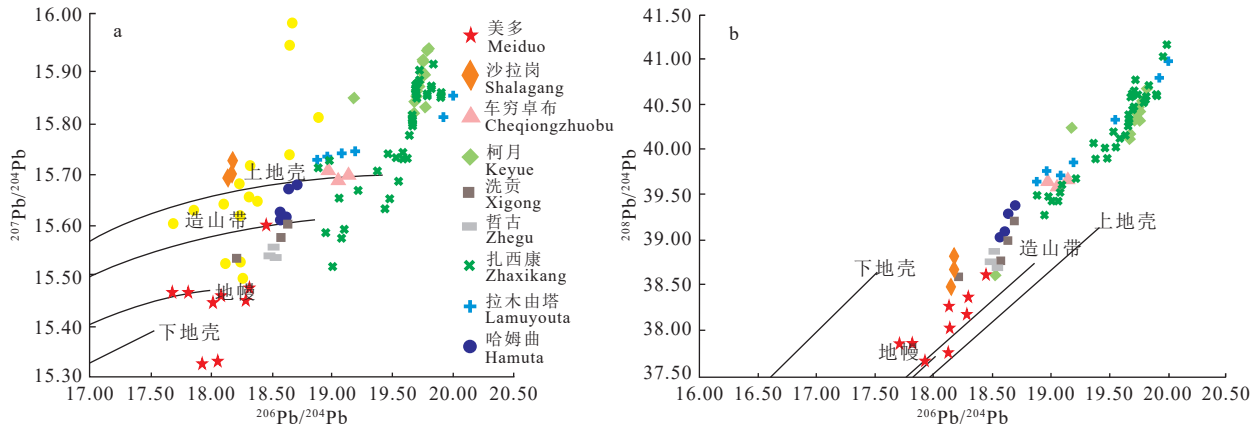


图 10 西藏典型锑和锑多金属矿床铅同位素构造演化图解

美多锑矿床数据引自闫升好等, 2004; 沙拉岗锑矿床数据引自李金高等, 2002; 车穷卓布锑矿床数据引自邓舟等, 2019; 柯月锑铅锌多金属矿床数据引自阿旺加措等, 2017; 缪华清等, 2017; 洗贡金锑矿床数据引自张刚阳, 2012; 哲古金锑矿床数据引自张刚阳, 2012; 扎西康锑铅锌多金属矿床数据引自张建芳等, 2010; Sun et al., 2017; 王达, 2018; 拉木由塔锑金矿床数据引自杜泽忠等, 2011; 哈姆曲锑矿床数据引自李保亮等, 2022

Fig. 10 Diagram of lead isotope tectonic evolution of typical antimony and antimony polymetallic deposits in Tibet

Meiduo antimony deposit data from Yan Shenghao, 2004; Shalagang antimony deposit data from Li Jingao et al., 2002; Cheqiongzhubu antimony deposit data from Deng Zhou et al., 2019; Keyue lead-zinc-antimony polymetallic deposit data from A Wangjia Cuo et al., 2017; Miao Huaqing et al., 2017; Xigong gold-antimony deposit data from Zhang Gangyang, 2012; Zhegu gold-antimony deposit data from Zhang Gangyang, 2012; Zhaxikang lead-zinc-antimony polymetallic deposit from Zhang Jianfang et al., 2010; Sun et al., 2017; Wang Da, 2018; Lamuyouta antimony-gold deposit data from Du Zezhong et al., 2011; Hamuqu antimony deposit data from Li Baoliang et al., 2022

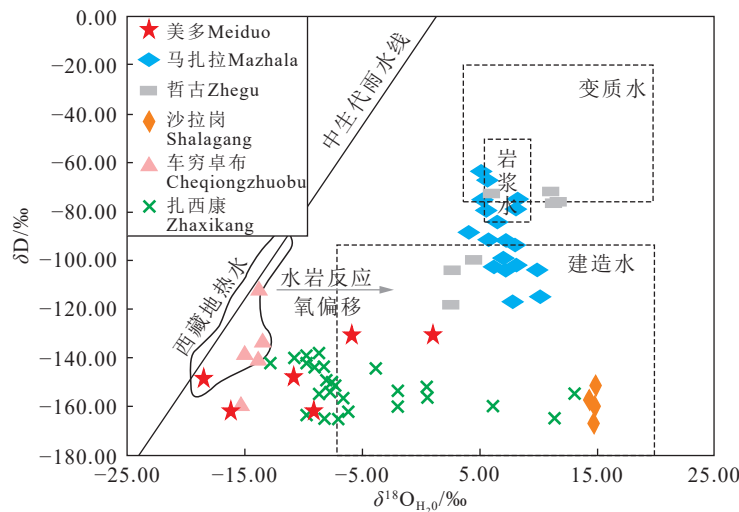


图 11 西藏典型锑和锑多金属矿床成矿流体氢氧同位素组成

扎西康锑铅锌多金属矿床数据引自张苏坤, 2013; 郑有业等, 2022; 美多锑矿床数据引自闫升好等, 2004; 马扎拉锑矿床数据引自谢玉玲等, 2019; 哲古锑矿床、沙拉岗锑矿床、车穷卓布锑矿床数据引自张刚阳, 2012

Fig. 11 Hydrogen and oxygen isotope composition of ore-forming fluids of typical antimony and antimony polymetallic deposits in Tibet

Zhaxikang lead-zinc-antimony polymetallic deposit from Zhang Sukun, 2013; Zheng Youye et al., 2022; Meiduo antimony deposit data from Yan Shenghao, 2004; Mazhala antimony deposit from Xie Yuling et al., 2019; Zhegu, Shalagang, Cheqiongzhubu antimony deposit data from Zhang Gangyang, 2012

(表 2)。由上可见, 西藏藏南锑矿带、藏北锑矿带, 虽处于不同的成矿带和不同的地层(三叠系、侏罗

系—白垩系)中, 但其成矿时间大多发生在中新世, 主成矿期均为喜马拉雅期。藏东锑矿带形成于青

表 2 西藏主要锑矿床成矿年龄

Table 2 Metallogenic age of the main antimony deposits in Tibet

矿床	测试样品	测试方法	年龄/Ma	数据来源
美多锑矿床	辉锑矿	Rb-Sr	20.2±1.8	闫升好等, 2004
	石英辉锑矿脉中石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	19.42±0.24	王登红等, 2005
扎西康锑多金属矿床	与石英-黄铁矿共生的含铬绢云母	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	17.9±0.5	郑有业等, 2014
车穷卓布锑矿床	石英辉锑矿脉中石英	ESR	18.3±1.8	闫升好等, 2003
	辉锑矿石英脉	ESR	18.0±1.8	张建芳, 2010
壤拉锑矿床	冰洲石-石英脉	ESR	18.6	郑有业等, 2014
哲古锑金矿床	辉锑矿石英脉	ESR	18.4±1.8	张建芳, 2010
马扎拉锑金矿床	石英矿脉	ESR	24.2±2.4	张建芳, 2010
	磷灰石	U-Pb	35.0	Lan et al., 2023
得龙锑矿床	辉锑矿石英脉	ESR	23.2±2.3	张建芳, 2010
沙拉岗锑矿床	辉锑矿石英脉	ESR	18.0±1.8	Zhang et al., 2011
	辉绿岩中锑石	U-Pb	23.6±0.8	
柯月锑多金属矿床	石英矿脉	ESR	18.0±1.8	张建芳, 2010
	石英脉中的绢云母	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	21.3±0.2	Lin et al., 2016

藏高原晚碰撞挤压伸展期(40~26 Ma)(侯增谦等, 2008a)。所以藏东拉诺玛锑多金属矿,成矿年代可能与藏南锑矿成矿时间不一致,其成矿时代可能为古近纪。

5.3 西藏锑矿成矿作用

藏北地区在新生代时期岩浆活动表现为强烈的火山喷发,形成大面积的高钾钙碱性火山岩、钾玄岩和碱性火山岩,火山岩的喷发和藏北锑矿带的形成受控于陆内造山张性构造,矿床(点)主要分布于上三叠统土门格拉组含煤碎屑岩地层中,受小唐古拉南缘断裂控制,呈北西向展布(邓万明, 1998; 陈文西和王建, 2009; Zhu et al., 2013; 罗梅等, 2014; Ou et al., 2021)。矿体形态产状受区域性北西向断裂和陆内造山北东向或南北向张性断裂联合控制(Wang et al., 2008; Wen et al., 2021)。藏北锑矿带已有成矿测年数据表明成矿作用主要发生在稍晚于 20 Ma 的中新世,属新生代成矿。藏北锑矿带成矿特征也明显具有层控特点。典型矿床以安多县美多锑矿床的勘探和研究程度最高,其余自东向西还分布有比其龙山锑矿、桑隆铅锌银矿床、尕尔西姜锑矿床、阿尕陇巴锑矿床和麦尔布锑矿点等,它们构成了藏北锑矿带以及锑、金、铅、锌、银矿床成矿系列(黄卫, 2002; 代克刚, 2013; 补西川和刘世安, 2018)。

藏南锑矿带新生代发生两次大规模成矿作用。一是与 65 Ma 前白垩纪末期雅鲁藏布江大洋地壳向冈底斯南缘的大陆地壳俯冲、与印度大陆和欧亚大陆碰撞、碰撞后伸展和高原隆升阶段的成矿

作用密切有关。二是与 45 Ma 以来印度板块与欧亚板块的汇聚、碰撞造山之后的伸展阶段有关(李廷栋等, 1995, 2002; 侯增谦等, 2006, 2008a; 李光明等, 2017; 黄丰等, 2020)。

第一次成矿作用可能与中新世浅成斑岩岩浆作用有关,矿床(点)受地层和近南北向张性断裂带控制的 Sb、Au、Pb、Zn、Ag 矿床,矿床(点)主要集中在冈底斯东段,属与伸展拆离带以及裂谷有关的金锑矿床成矿亚系列,典型矿床点以有弄如日锑金矿床和车贡拉锑铅锌银矿床为代表(高永丰等, 2006; 游钦, 2015; 周天成, 2015)。

第二次成矿作用主要发生在新近纪和第四纪,层控与时控特征明显。主要部分位于藏南拆离系之主拆离带与雅鲁藏布江缝合带之间的北喜马拉雅被动边缘褶冲带,其间发育一套与伸展拆离带和热泉活动有关的浅成中低温热液型 Sb、Au、Pb、Zn、Ag 矿床与成矿系列,矿床(点)受藏南拆离系(STDS)、藏南黑/暗色岩系、变质核杂岩、南北向张性断裂/地堑裂谷系统、淡色花岗岩以及 Kerguelen 地幔柱的联合控制(付伟等, 2005; 高伟, 2006; 江思宏等, 2007; 梁维等, 2015; 林彬等, 2016)。原生矿床(点)自西向东以马攸木金锑矿床、鲁鲁锑矿床、科雅锑矿床、沙拉岗锑矿床、浪卡子金矿、邦布金矿床、马扎拉和哲古错锑金矿床、扎西康锑铅锌矿床等为代表,它们共同构成了西藏有名的藏南锑金多金属矿床成矿系列(陈文庆和詹勇, 2018; 李应栩等, 2018; 邓舟等, 2019; 刘宇奇等, 2021; Cheng et al., 2021)。

藏东锑矿带成矿作用等方面与兰坪、思茅、盐井盆地和囊谦、上拉秀、下拉秀及沱沱河盆地相似, 广泛发育层控型的铅锌矿床和低温热液成因的 Hg、Sb、As 矿床(点), 受层位和构造控制明显(李璞, 1955; 陶琰等, 2010, 2011; 刘英超等, 2013)。本次研究的位于昌都盆地西缘澜沧江断裂带附近的拉诺玛 Sb、Pb、Zn、Ag 矿床以及西缘的俄龙呷、鼓多、西巴和云果等锑、砷、汞矿床(点)为其代表(闫玉城, 2017)。

5.4 锑成矿与青藏高原形成演化的关系

印度—亚洲大陆碰撞和青藏高原隆起可以说是地球历史上近 100 Ma 来最重要的地质事件之一。碰撞直接导致了青藏高原的形成, 面积超过 250 万 km², 平均海拔约 5000 m(Dewey et al., 1988; Pan et al., 2012; Zhu et al., 2013; Yin and Harrison, 2000)。青藏高原是全球最为年轻的碰撞造山带, 它是开展地球动力学研究的最佳场所(Li et al., 2015, 2017, 2019, 2020)。现有的对青藏高原地球物理探测(Zhang et al., 2014; Jin et al., 2018)、岩石学与地球化学研究(Wang et al., 2008; Guan et al., 2012; Lang et al., 2019, 2020)和构造分析的结果(Tobgay et al., 2012), 为研究大陆碰撞背景下西藏锑矿的成矿过程提供了重要帮助。青藏高原的成矿作用贯穿于印度—亚洲大陆碰撞造山的整个过程, 将大陆碰撞成矿作用归纳为 3 个成矿作用阶段, 即主碰撞造山成矿阶段(65~41 Ma)、晚碰撞转换成矿阶段(40~26 Ma)和后碰撞伸展成矿阶段(25~0 Ma)(侯增谦等, 2006)。不同构造背景下形成了各种类型的矿床。

西藏的锑矿可称为与造山带有关的矿床, 成矿主要发生在晚碰撞和后碰撞造山期。晚碰撞转换成矿期间, 印度大陆和欧亚大陆持续碰撞, 产生南北向挤压力, 同时期的岩浆作用和双重褶皱使拉萨地块南部和特提斯喜马拉雅带地壳增厚(Mo et al., 2007; 莫宣学, 2011; Zeng et al., 2011), 壳/幔物质流动、幔源或壳/幔混源岩浆活动强烈, 发育大规模走滑断裂和大规模走滑剪切为特征的陆内俯冲和构造转换带, 成矿作用主要发育于藏东构造转换带, 形成藏东锑多金属带(高永丰等, 2006; 侯增谦等, 2008b; 潘桂棠等, 2022)。后碰撞伸展阶段是青藏高原锑矿最重要的成矿阶段, 西藏绝大多数锑矿是

中新世成矿作用的产物, 之后第四纪的热泉活动对之前已有的一些锑矿又进行叠加改造(Zhai et al., 2014; 郑有业等, 2022)。印度板块向欧亚板块的俯冲使青藏高原发生强烈的构造挤压变形和地壳缩短, 同时喜马拉雅地区向南的逆冲推覆引起地壳强烈加厚, 并诱发下地壳部分熔融(Williams et al., 2001; Hou et al., 2011; 潘桂棠等, 2022), 青藏高原中部及南部广大地区总体呈现出伸展松弛的构造面貌, 特提斯喜马拉雅区由于受到陆内造山过程强烈的逆冲推覆、伸展构造的纵向和横向控制, 形成藏南锑矿带, 矿体的形态、产状受区域性东西向断裂和造山晚期南北向断裂联合控制(聂凤军等, 2005; Zhang et al., 2010; Xu et al., 2015; 黄丰等, 2020; 王庆飞等, 2020)。藏北锑矿带受陆内造山张性构造控制, 锑矿带沿北西向展布, 矿体的形态、产状受区域性北西向断裂和陆内造山南北向张性断裂联合控制(余金杰, 2001; 闫升好等, 2003, 2004)。

新生代是西藏地区乃至整个青藏高原中最重要的成矿期。其成矿作用表现为一批重要矿集区和大型、超大型锑、铜、铅、锌、金、银矿床的形成。从冈底斯带的斑岩铜、金锑矿床到藏南带的金锑矿再到唐古拉带铁铜矿和金锑矿以及藏北带的锑、金、铅、锌、银等矿床的形成和最终就位^②(余金杰, 2001; 杨竹森等, 2006; Hou et al., 2006; Tang et al., 2021; 郑有业等, 2022)。

5.5 控矿要素与找矿方向

通过对西藏锑矿成矿规律的初步总结, 西藏锑矿床主要控矿因素有 3 个: 地层与沉积建造、构造、岩浆岩。

5.5.1 地层与沉积建造对成矿的控制

晚三叠世灰色或暗色碎屑岩和碳酸盐岩, 是西藏锑矿最重要的赋存岩性地层之一, 藏北成矿带中的美多、扎那、尕尔西姜等矿床, 藏南成矿带中的特劣、沙包矿床, 藏东地区的拉诺玛矿床均赋存于该时代的相关岩性层中(余金杰, 2001; 陶琰等, 2011; 补西川和刘世安, 2018)。

侏罗系—白垩系的碎屑岩系是西藏地区又一重要赋矿层位, 扎西康、吉松、沙拉岗、马扎拉、哲古错、车穷卓布、弄如日等矿床, 藏西地区的哈姆曲矿床, 均赋存于该层位中(Zhai et al., 2014; 彭渤洋等, 2015; Wang et al., 2019; 郑有业等, 2022; 李保亮

等, 2022)。由上不难看出, 西藏地区锑矿的产出与特定时代的地层和特定的岩性层关系密切, 西藏地区锑矿床绝大多数为层控型矿床。

西藏锑矿床地层控矿表现为具有多层性(多时代性)的特点, 沉积建造以暗色含煤碎屑岩建造为主, 其次为碳酸盐岩建造。赋矿地层主要有晚三叠世的土门格拉组二段(T_3r^2)和波里拉组(T_3b), 早侏罗世的日当组(J_1r)和早白垩世的甲不拉组(K_1j)等为数不多的几个层位, 这些地层可能为重要的初始矿源层。从地层的特征看, 均为一套含煤、含炭、有机质较高的还原性地层, 在促进 Sb 等亲硫元素的聚集和沉淀中起着非常重要的作用。

5.5.2 构造对成矿的控制

西藏的锑矿为与造山带有关的矿床, 所以构造对西藏地区锑矿床成矿影响很大, 有利的构造类型主要为各种层状构造(构造层界面、岩层界面、物性不连续面等相对滑动引起的构造)、断裂构造、褶皱构造等(梁维, 2014; Sun et al., 2016; Zheng et al., 2021)。

藏南锑矿带成矿作用与印度板块和欧亚板块的陆陆碰撞作用及藏南拆离系的形成和发展一脉相承, 受陆内造山过程强烈的逆冲推覆、伸展构造(纵向和横向)控制, 造成锑矿带展布方向为近东西向, 但矿体的形态、产状受区域性东西向断裂和造山晚期南北向断裂的联合控制, 尤以二者的交汇地段对成矿最为有利(聂凤军等, 2005; 杨竹森等, 2006; 张刚阳, 2012; Zhai et al., 2014)。藏北锑矿带受陆内造山张性构造控制, 锑矿带的展布方向为北西向, 矿体的形态、产状受区域性北西向断裂和陆内造山南北向张性断裂的共同制约(余金杰, 2001)。藏东锑矿带在印度-亚洲大陆的持续汇聚背景下, 高原东缘集中表现出构造转换域的特点, 形成大规模的剪切构造、逆冲推覆构造和走滑断裂系统以及相伴产出的走滑拉分盆地和岩浆事件(张进江和丁林, 2003; 侯增谦等, 2006; 陶琰等, 2011; Wang et al., 2014)。其自东向西有锑铅锌多金属、锑砷、锑汞矿床的分布特点, 所以推测藏东昌都盆地西缘的锑铅锌多金属矿带向北西可能延至藏北美多锑矿带的北缘, 如果进一步在这些部位找到类似的矿床, 便可认为藏北美多锑矿带隔大冈底斯多金属成矿带与藏南锑金成矿带构成了镜像对称, 藏

北锑矿带向西延的推测将会成为现实!

西藏锑矿无论其赋存于碎屑岩地层中亦或碳酸盐岩地层中, 成矿作用均受到断裂带的制约。从典型矿床中可知, 西藏层控锑矿体的就位, 主要受断裂和裂隙的控制, 其中北东-南西向和南北向两组断裂控制尤其重要和普遍(聂凤军等, 2005; 郑有业等, 2022)。当含矿溶液沿断裂向上运移至层间滑动带时, 由褶皱引起的层间滑动形成滑动带(有时可能出现层间破碎带)也是含矿溶液流动和矿质沉淀的部位。假整合和不整合面是机械物理性质和化学成分有明显差异的界面, 同时, 该部位又是一构造薄弱带, 岩石易破碎产生断裂和层间剥离, 从而含矿溶液在其间流动时易于发生分异沉淀作用(余金杰, 2001; Xie et al., 2017; Zheng et al., 2021)。

5.5.3 岩浆岩与成矿的关系

藏北锑矿带地处唐古拉前陆盆地南缘, 在锑矿带的北部出露多种岩浆岩和火山岩, 这为本区的各种金属成矿提供了良好的构造环境, 锑矿(化)体多赋存在英安岩、火山碎屑岩中(余金杰, 2001; 闫升好等, 2003, 2004)。矿产分布总体上受沿小唐古拉南缘断裂呈裂隙式喷发的火山岩控制, 早期为火山沉积喷流层控型锑矿床, 后期有喜马拉雅成矿阶段成矿作用的叠加和改造, 在有利的 NNE 向张性裂隙的成矿空间中, 形成结晶巨大的块状矿脉或矿体(Zhu et al., 2013)。以往勘查工作对锑矿体控制程度有限, 矿体沿走向、倾向尚未完全控制, 尚有找矿远景。对钻孔控制的无矿体、无矿化体、无火山岩的部位, 可能为构造应力较强所致, 当沿走向、倾向产状变化的构造蚀变带追索, 极有可能出现尖灭再现的现象, 从而发现新的矿体, 扩大矿床资源量。

藏南锑矿带, 侵入岩方面最明显的特征就是在喜马拉雅构造带内产出有两条相距 80 km, 并且相互平行分布的淡色花岗岩带(Zhu et al., 2011a, b, 2013; Lang et al., 2019, 2020)。两岩带由大小不等和形态各异的岩株、岩床、岩墙和岩脉构成, 主要岩石类型有电气石花岗岩、斜长花岗岩、伟晶花岗岩和细晶岩, 形成时间分别集中在 24~17 Ma 和 18~9 Ma(聂凤军等, 2005; 侯增谦等, 2006; Wang et al., 2014; 刘洪等, 2019)。此外, 整个藏南地区燕山晚期—喜马拉雅早期富碱辉长岩、辉绿岩、闪长岩和闪长玢岩脉或岩墙分布广泛, 个别具明显硅化、绢云母化和碳酸盐化的侵入岩体与金和锑矿体具

密切时空分布关系(杨竹森等, 2006; 戚学祥等, 2008)。

虽然西藏锑矿勘查近年取得了进展, 新发现了一批锑矿产地, 如扎西康式、马扎拉式等锑矿床, 但西藏地区锑矿找矿方向主要集中在工作程度相对较高的藏南锑矿带。藏北锑矿带的勘查和研究程度较低, 目前共发现锑矿床(点)27 处(其中 3 处为大、中型锑矿床), 这与该成矿带的资源潜力极不相称, 所以西藏锑矿仍具有较大的找矿潜力。基于上述锑矿成因模式, 尤其是相关地质、地球化学和地球物理信息, 建立了最为适合本区的勘查模型(表 3)。

6 结 论

(1)总结了西藏地区锑矿的时空分布规律, 根据

锑矿床(点)空间分布特征, 并结合区域地质资料 and 化探数据, 将西藏地区已发现的锑矿(点)划分为藏北锑矿带、藏南锑矿带、藏东锑矿带和藏西锑矿带 4 条成矿带。

(2)西藏的锑矿可称为与造山带有关的矿床, 成矿阶段主要为青藏高原的晚碰撞挤压—伸展转换阶段和后碰撞伸展阶段。均受到构造—岩浆—热液/流体等明显的控制, 西藏锑矿的成矿系列可总体归为与新生代岩浆作用有关的成矿系列范畴。

(3)通过对西藏锑矿成矿规律进行总结。西藏锑矿床主要赋存于三叠系和侏罗系—白垩系中, 成矿主要与层状构造(构造层界面、岩层界面、物性不连续面等相对滑动引起的构造)、断裂构造、褶皱构造等关系密切, 成矿作用主要与碰撞型花岗质岩浆活动和碰撞后伸展期的岩浆作用有关。

表 3 西藏地区锑矿综合勘查模型
Table 3 Comprehensive exploration model of antimony deposit in Tibet

模型要素	特征描述内容		要素分类
	碎屑岩热液型锑矿床、碳酸盐岩热液型矿床		
成矿时代	中新世(20 Ma左右)		重要
成矿地质环境及成矿作用	构造背景	深大断裂带、基底断裂控制着矿集区、矿田的分布, 断裂和裂隙控制着锑矿的位置, 北东-南西向和南北向两组断裂控制尤其重要和普遍。层间滑动带和褶皱控制矿体的分布	必要
	成因类型	层控型矿床	必要
	赋矿地层	晚三叠世土门格拉组、早侏罗世日当组和早白垩世甲不拉组	次要
	成矿作用	成矿作用主要与碰撞型花岗质岩浆活动和碰撞后伸展期的岩浆作用有关	必要
	成矿物质来源	成矿物质主要为岩浆来源, 少部分有地层参与	重要
矿床地质特征	矿物组合	金属矿物主要以辉锑矿、闪锌矿、方铅矿、硫锑铅矿、银黝铜矿为主, 次为黄铁矿、毒砂、自然金, 其次为白铁矿、赤铁矿等; 非金属矿物以石英、方解石为主, 其次为绢云母、白云母、绿泥石、白云石等	次要
	结构构造	构造主要为块状构造、条带状构造、浸染状构造、网脉状构造、细脉状构造等; 结构主要为自形粒状结构、半自形粒状结构、包含结构、交代结构、溶蚀交代结构等	次要
	矿石类型	自然类型主要为原生矿, 其次为氧化矿。工业类型为脉状锑矿	次要
	蚀变	硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、方解石化、绿泥石化、高岭土化等	次要
	氧化作用	地表露头出现锑华、黄锑华、锑锑石、褐铁矿、铅矾、孔雀石、铜蓝等	次要
物化探遥异常特征	重力	正负航磁异常的过渡带是寻找锑矿(化)的间接找矿标志。	次要
	磁法	物探测量的低阻和高极化异常是重要的找矿标志	次要
	化探	区域水系沉积物Sb、As、Hg、Au组合异常及重砂异常, 异常可能反映了区域内存在含锑地层	次要
	遥感	遥感多个环形构造重叠或交叉的边部、多组线性构造的交叉部位或线环构造的交叉部位、铁氧化物或蚀变矿物发育的部位是寻找锑矿(化)的间接找矿标志	次要

注释

①李志, 丁永忠, 董家国. 2008. 西藏自治区双湖特别区扎那矿区锑矿详查报告 [R]. 拉萨: 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队.

②曲晓明, 侯增谦, 张绮玲, 李佑国, 李振清, 刘光海. 2003. 西藏铜金锑多金属矿产资源远景评价 [R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所, 1-194.

③李关清, 向中林, 杜泽忠, 钟康惠, 朱黎宽, 姚晓峦, 卓玛啦, 西洛朗杰, 曾庆高. 2011. 西藏自治区锑矿成矿规律总结 [R]. 1-89.

④张相国, 尼采, 扎西, 丹增它青, 洛扎, 达瓦, 李正亮, 措涌. 2014. 西藏噶尔县阿布纳布矿区锑矿详查阶段报告 [R]. 拉萨: 西藏自治区地质矿产勘查开发局地质调查院.

⑤贵州冶金地质勘探公司情报资料. 1982. 国内外锑矿资源矿床类型及成矿特征 [R].

References

- Anderson C G. 2012. The metallurgy of antimony[J]. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 72(4): 3-8.
- Aung M O, Lv X B, Khin Z, Than H, Sun B, Munir M A A. 2020. Ore geology, fluid inclusions, and (H-O-S-Pb) isotope geochemistry of the sediment-hosted antimony mineralization, Lyhamyar Sb deposit, Southern Shan Plateau, Eastern Myanmar: Implications for ore genesis[J]. *Minerals*, 296(10): 1-25.
- A Wangjia Cuo, Zheng Youye, Yang Wantao, SuoLang Ouzhu. 2017. Mineral typomorphic characteristics and source of ore-forming materials of keyue lead-zinc polymetallic deposit, Southern Tibet[J]. *Geological Science and Technology Information*, 36(3): 53-63 (in Chinese with English abstract).
- Behzad M, Ebrahim T F, Bruce Y. 2019. Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran[J]. *Geochemistry*, 79: 307-322.
- Bianba Renqing, Chen Li, Zhou Weide. 2019. Geological characteristics of gold-antimony ore formation and prospect analysis of Lachung gold-antimony mine in Tsomei County, Tibet[J]. *Western Resources*, (6): 36-37 (in Chinese).
- Boyle R W, Jonasson I R. 1984. The geochemistry of antimony and its use as an indicator element in geochemical prospecting[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 20(3): 223-302.
- Bu Xichuan, Liu Shian. 2018. Characteristics and genesis of the ore deposit in the Jiangxi Province[J]. *World Nonferrous Metals*, (19): 110-112 (in Chinese with English abstract).
- Cao H W, Zou H, Leon B, Zhang L K, Zhang Z, Li Z Q. 2019. The Laqiong Sb-Au deposit: Implications for polymetallic mineral systems in the Tethys-Himalayan zone of southern Tibet, China[J]. *Gondwana Research*, 72: 83-96.
- Chen J, Huang Z L, Yang R D, Du L J, Liao M Y. 2021. Gold and antimony metallogenic relations and ore-forming process of Qinglong Sb(Au) deposit in Youjiang basin, SW China: Sulfide trace elements and sulfur isotopes[J]. *Geoscience Frontiers*, 12: 1-19.
- Chen J, Yang R D, Du L J, Gao J B, Zheng L L, Huang Z L. 2020. Multistage fluid sources and evolution of Qinglong Sb-(Au) deposit in northern margin of Youjiang basin, SW China: REE geochemistry and Sr-H-O isotopes of ore-related jasperoid, quartz and fluorite[J]. *Ore Geology Reviews*, 127: 1-18.
- Chen S S, Shi R D, Fan W M, Zou H B, Liu D L, Huang Q S, Gong X H, Yi G D, Wu K. 2016. Middle Triassic volcanic rocks in the Northern Qiangtang (Central Tibet): Geochronology, petrogenesis, and tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 666: 90-102.
- Chen Wenqing, Zhan Yong. 2018. Geological characteristics and mineral search potential of Pulonglang pyrite in Lang County, Tibet[J]. *East China Science and Technology (General)*, (7): 349-350 (in Chinese).
- Chen Wenxi, Wang Jian. 2009. Correlation of Upper Triassic strata in Qiangtang Basin, northern Tibet[J]. *Geology in China*, 36(4): 809-818 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Li Houmin, Xiong Xiaoxian, Gao Lan, Xu Zhigang. 2010. Classification Scheme of Important Mineral Prediction Types[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-222(in Chinese).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong. 2001. Study of Himalayan Epigenetic Mineralization[M]. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- Chen Yuchuan. 1999. Prospective Evaluation of Mineral Resources in Major Mineral Formation Zones in China[M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Cheng W B, Peng Y W, Su J, Chi G X, Li G Q, Lv P R. 2021. Geology, geochemistry and genesis of Keyue: A newly discovered Pb-Zn-Sb-Ag polymetallic deposit associated with magmatic center in Southern Tibet, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 139: 68-90.
- China Mineral Deposits Editorial Board. 1989. Mineral Deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-544(in Chinese).
- China Nonferrous Metals Industry Corporation. 1996. The Geology and Case Study of Antimony Ore Deposits in China [M]. Beijing Institute of Mineral Geology (in Chinese).
- Chung S L, Chu M F, Zhang Y, Xie Y W, Lo C H, Lee T Y, Lan C Y, Li X H, Zhang Q, Wang Y Z. 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism[J]. *Earth-Science Reviews*, 68(3/4): 173-196.
- Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, Chu M F, Lee H Y, Wen D J, Lo C H, Lee T Y, Qian Qi, Zhang Q. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet[J]. *Geology*, 31(11): 1021-1024.
- Clark M, Royden L. 2000. Topographic ooze: Building the eastern margin of Tibet by lower crustal flow[J]. *Geology*, 28(8): 703-706.
- Dai Kegang. 2013. Geological Characteristics and Genesis of the Antimony Ore Deposit in the Shuanghu Special Area, Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1-54 (in Chinese with English abstract).

- Dayem K E, Molnar P, Clark M K, Houseman G A. 2009. Far-field lithospheric deformation in Tibet during continental collision[J]. *Tectonics*, 28: 1–9.
- Deng Wanming. 1998. Cenozoic Intraplate Volcanic Rocks in the Northern Qinghai–Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Deng Zhou, Zhang Gangyang, Zheng Youye, Chen Youliang. 2019. S–Pb isotope constrains for origin of ore-forming material in Cheqiongzhuobu antimony deposit in southern Tibet[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 42(3): 337–345 (in Chinese with English abstract).
- Dewey J F, Shackleton R M, Chengfa C, Sun Y Y. 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 327(1594): 379–413.
- Dill H G. 1998. Evolution of Sb mineralisation in modern fold belts: A comparison of the Sb mineralisation in the Central Andes (Bolivia) and the Western Carpathians (Slovakia)[J]. *Minerals*, 33: 359–378.
- Ding J H, Zhang Y, Ma Y B, Wang Y, Zhang J B, Zhang T T. 2021. Metallogenic characteristics and resource potential of antimony in China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 230: 106834.
- Ding Jianhua, Yang Yiheng, Deng Fan. 2013. Resource potential and metallogenic prognosis of antimony deposits in China[J]. *Geology in China*, 40(3): 846–858 (in Chinese with English abstract).
- Ding Lin, Cai Fulong, Zhang Qinghai, Zhang Liyun, Xu Qiang, Yang Di, Liu Deliang, Zhong dalai. 2009. Foreland basin systems and tectonic evolution of the Ganges–Himalayan collisional orogenic belt[J]. *Geoscience*, 44(4): 1289–1311 (in Chinese with English abstract).
- Ding Lin, Satybaev Maksatbek, Cai Fulong, Wang Houqi, Song Peiping, Ji Weiqiang, Xu Qiang, Zhang Liyun, Qasim Muhammad, Baral Upendra. 2017. Processes of initial collision and suturing between India and Asia[J]. *Science China Earth Sciences*, 47(3): 293–309 (in Chinese with English abstract).
- Du Xiaofei. 2014. Fluid Inclusions in the Keyue Pb–Zn–Sb–Ag Deposit, Lhunze County, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1–64 (in Chinese with English abstract).
- Du Zezhong, Gu Xuexiang, Li Guanqing, Zhang Yongmei, Cheng Wenbin. 2011. Sulfur, lead isotope composition characteristics and the relevant instructive significance of the Lamuyouta Sb(Au) Deposit, South Tibet[J]. *Geoscience*, 25(5): 853–860 (in Chinese with English abstract).
- Editorial Committee of *China Mineral Deposits*. 1989. *Mineral Deposits of China*, vol. 1 [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- European Commission. 2017. Study on the Review of the List of Critical Raw Materials[R]. Brussels: European Commission.
- Evangelos T, Platon N, Gamaletsos, Giovanni G, Micol B, Anthimos X, Anastasios Z, Dimitrios D, Yiannis P, Athanasios G. 2020. New insights into the mineralogy and geochemistry of Sb ores from Greece[J]. *Minerals*, 10: 236–252.
- Fan D L, Zhang T, Ye J. 2004. The Xikuangshan Sb deposit hosted by the Upper Devonian black shale series, Hunan, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 24(1/2): 121–133.
- Fu Wei, Zhou Yongzhang, Yang Zhijun, Nie Fengjun, He Junguo, Li Wen. 2005. Characteristics of multi-horizon ore-bearing formations in southern Tibet Au–Sb metallogenic belt and its controlling factors[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 321–327 (in Chinese with English abstract).
- Gao Wei. 2006. Study on Geological, Geochemical Characteristics and Genetic Dynamics of Shalagang Antimony Deposit in Southern Tibetan Detachment System[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–87. (in Chinese with English abstract).
- Gao Yongfeng, Hou Zengqian, Wei Ruihua, Meng Xiangjin, Hu Hhuabin. 2006. The geochemistry and Sr–Nd–Pb isotopes of basaltic subvolcanics from the Gangdese: Constraints on depleted mantle source for post-collisional volcanisms in the Tibetan plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 547–557 (in Chinese with English abstract).
- Guan Q, Zhu D C, Zhao Z D, Dong G C, Zhang L L, Li X W, Liu M, Mo X X, Liu Y S, Yuan H L. 2012. Crustal thickening prior to 38Ma in southern Tibet: Evidence from lower crust-derived adakitic magmatism in the Gangdese Batholith[J]. *Gondwana Research*, 21(1): 88–99.
- Hofstra A H, Marsh E E, Todorov T I, Emsbo P. 2013. Fluid inclusion evidence for a genetic link between simple antimony veins and giant silver veins in the Coeur d’Alene mining district, ID and MT[J]. *Geofluids*, 13(4): 475–493.
- Hou Z Q, Zhang H R, Pan X F, Yang Z M. 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in SW, China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. *Ore Geology Review*, 31(1/4): 48–87.
- Hou Z Q, Zhang H R, Pan X F, Yang Z M. 2011. Porphyry Cu (Mo–Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: Examples from the eastern Tethyan metallogenic domain[J]. *Ore Geology Review*, 39(1): 21–45.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, Wang Anjian, Pan Guitang, Qu Xiaoming, Nie Fengjun. 2006. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai–Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 36(4): 809–818 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Wang Erqi, Mo Xuanxue, Ding Lin, Pan Guitang, Zhang Zhongjie. 2008. Collisional Orogeny and Mineralization in the Tibetan Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Hou Zengqian, Song Yucai, Li Zheng, Wang Zhaolin, Yang Zhiming, Yang Zhusen, Liu Yingchao, Tian Shihong, He Longqing, Chen Kaixu, Wang Fuchun, Zhao Chengxiang, Xue Wanwen, Lu Haifeng. 2008. Thrust-controlled sediments-hosted Pb–Zn–Ag–Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenic belt: Geological features and tectonic northern model[J]. *Mineral Deposits*, 27(2): 123–144 (in Chinese with English abstract).
- Huang Feng, Xu Jifeng, Wang Baodi, Zeng Yunchuan, Liu Xijun, Liu

- Han, Yu Hongxia. 2020. Destiny of Neo-Tethyan lithosphere during India-Asia collision[J]. *Earth Science*, 45(8): 2765-2803 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Sihong, Nie Fengjun, Hu Peng, Liu Yan, Lai Xinrong. 2007. Geochemical characteristics of the mafic dyke swarms in South Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 60-72 (in Chinese with English abstract).
- Jin C S, Liu Q S, Liang W T, Andrew P R, Sun J M, Hu P X, Zhao X Y, Su Y L, Jiang Z X, Liu Z F, Duan Z Q, Yang H H, Yuan S H. 2018. Magnetostratigraphy of the Fenghuoshan Group in the Hoh Xil Basin and its tectonic implications for India-Eurasia collision and Tibetan Plateau deformation[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 486: 41-53.
- Kohn M, Parkinson C D. 2002. Petrologic case for Eocene slab breakoff during the Indo-Asian collision[J]. *Geology*, 30: 591-594.
- Lan Z W, Zhang G Y, Cao R, Li Fei, Cao H W, Zou H. 2023. Apatite U-Pb geochronological and geochemical constraints on the Mazhala Au-Sb deposit in South Tibet, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 158: 105503.
- Lang X H, Deng Y L, Wang X H, Tang J X, Yin Q, Xie F W, Yang Z Y, Li Z, He Q, Li L, Zhang Z, Jiang K. 2020. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks of the Bima Formation, southern Lhasa subterrane, Tibet: Implications for early Neo-Tethyan subduction[J]. *Gondwana Research*, 80: 335-349.
- Lang X H, Wang X H, Deng Y L, Tang J X, Xie F W, Zhou Y, Huang Y, Li Z, Yin Q, Jiang K. 2019. Early Jurassic volcanic rocks in the Xiongcuo district, southern Lhasa subterrane, Tibet: Implications for the tectono-magmatic events associated with the early evolution of the Neo-Tethys Ocean[J]. *Lithos*, 340-341: 166-180.
- Lee J, Hacker B R, Dinklage W S, Wang Y, Gans P, Calvert A, Wan J, Chen W, Blythe AE, McClelland W. 2000. Evolution of the Kangmar Dome, southern Tibet: Structural, petrologic, and thermochronologic constraints[J]. *Tectonics*, 19: 872-895.
- Lee J, Hacker B, Wang Y. 2004. Evolution of North Himalayan gneiss domes: structural and metamorphic studies in Mabja Dome, southern Tibet[J]. *Journal of Structural Geology*, 26: 2297-2316.
- Leech M L, Singh S, Jain A K, Klemperer S L, Manichavasgam R M. 2005 The onset of India-Asia continental collision: Early, steep subduction required by the timing of UHP metamorphism in the western Himalaya[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 234: 83-97.
- Li Baoliang, Wang Liqiang, Zhang Xiangguo, Pingcuo Duoqi, Gao Teng, Wang Yong. 2022. Sulfur and lead isotope compositions and their geological significances in the Quzhen Sb mineralization section of the Hamuqu Sb-Au deposit, Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 43(2): 202-210 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Li J X, Zhao J X, Qin K Z, Cao M J, Noreen J E. 2015. Petrogenesis and tectonic setting of Triassic granitoids in the Qiangtang terrane, central Tibet: Evidence from U-Pb ages, petrochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 105: 443-455.
- Li Guangming, Zhang Linkui, Jiao Yanjie, Xia Xiangbiao, Dong Suiliang, Fu Jiangang, Liang Wei, Zhang Zhi, Wu Jianyang, Dong Lei, Huang Yong. 2017. First discovery and implications of Cuonadong superlarge Be-W-Sn polymetallic Tibet deposit in Himalayan metallogenic belt, southern Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 36(4): 1003-1008 (in Chinese with English abstract).
- Li H L, Zhou Z K, Noreen J E, Kong H, Wu Q H, Xi X S. 2019. Fluid-zircon interaction during low-temperature hydrothermal processes: Implications for the genesis of the Banxi antimony deposit, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 114: 103137.
- Li H, Kong H, Guo B Y, Landry S T, Zhang Q, Wu Q H, Xi X S. 2020. Fluid inclusion, H-O-S isotope and rare earth element constraints on the mineralization of the Dong'an Sb deposit, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 126: 1025-1039.
- Li H, Wu Q H, Noreen J E, Zhou Z K, Kong H, Xi X S, Lin Z W. 2018. Geochemistry and geochronology of the Banxi Sb deposit: Implications for fluid origin and the evolution of Sb mineralization in central-western Hunan, South China[J]. *Gondwana Research*, 55: 112-134.
- Li J W, Hu R Z, Xiao J F, Zhuo Y Z, Yan J, Abiola O. 2020. Genesis of gold and antimony deposits in the Youjiang metallogenic province, SW China: Evidence from in situ oxygen isotopic and trace element compositions of quartz[J]. *Ore Geology Reviews*, 116: 1-16.
- Li Jingao, Wang Quanhai, Chen Jiankun, Yao Peng, Peng Yongmin. 2002. Study of metallogenic and prospecting models for the Shalagang antimony deposit, Gyangze, Tibet[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 29(5): 533-538 (in Chinese with English abstract).
- Li Pu. 1955. Preliminary introduction of eastern Tibet[J]. *Scientific Bulletin*, (7): 62-71 (in Chinese).
- Li Tingdong. 1995. The uplifting process and mechanism of the Qinhai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, (1): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- Li Tingdong. 2002. New progress in the geoscience study of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(7): 370-376 (in Chinese with English abstract).
- Li W C, Yu H iJ, Gao X, Liu X L, Wang J H. 2017. Review of Mesozoic multiple magmatism and porphyry Cu-Mo (W) mineralization in the Yidun Arc, eastern Tibet Plateau[J]. *Ore Geology Reviews*, 90: 795-812.
- Li Yingxu, Li Guangming, Dong Lei, Zhang Linkui, Wu Jianyang, Zhou Bangguo, Xia Xiangbiao, Dai Zuowen. 2018. Geology and exploration potential of the Mazhala gold deposit, Cuomei Xizang: An approach[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38(3): 88-98 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhitai, Xu Kang, Wang Lianfeng, Wang Qiang, Jiang Yingde. 2020. Metamorphic evolution of the kyanite-staurolite micaschist from the Ramba Dome, Tibet: Insights into the petrogenesis of Himalayan Eocene leucogranite[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 44(6): 1190-1207 (in Chinese with English abstract).
- Liang Wei, Li Guangming, Basang Yuandan, Zhang Linkui, Fu

- Jiangang, Huang Yong, Zhang Zhi, Wang Yiyun, Cao Huawen. 2021. Metallogenesis of Himalaya gneiss dome: An example from Cuonadong gneiss dome in Zhaxikang ore concentration area[J]. *Mineral Deposits*, 40(5): 932–948 (in Chinese with English abstract).
- Liang Wei, Yang Zhusen, Zheng Yuanchuan. 2015. The Zhaxikang Pb–Zn polymetallic deposit: Ar–Ar age of sericite and its metallogenic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(3): 560–568 (in Chinese with English abstract).
- Liang Wei, Zheng Yuanchuan, Yang Zhusen, Li Zhenqing, Liu Yingchao, Liu Yunfei, Li Qiuyun, Sun Qingzhong, Fu Qianq, Hou Zengqian. 2014. Multiphase and polystage metallogenic process of the Zhaxikang large–size Pb–Zn–Ag–Sb polymetallic deposit in southern Tibet and its implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(1): 64–78 (in Chinese with English abstract).
- Liang Wei. 2014. Metallogenesis of Au–Sb–Pb–Zn Mineralization in Tethys Himalaya Belt, South Tibet, China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–151 (in Chinese with English abstract).
- Lin Bin, Tang Juxing, Zheng Wenbao, Wang Yiyun, Gao Yiming, Lin Xin, Yang Huanhuan, Leng Qiufeng, Li Xiaotong, Tang Xiaoqian, Fu Yangang. 2016. A preliminary study of geological features and metallogenic epoch in Keyue Zn–polymetallic deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 35(1): 33–50 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hong, Li Guangming, Huang Hanxiao, Zhang Linkui, Lu Menghong, Lan Shuangshuang, Xie Hui. 2019. The discovery of the Late Triassic porphyry type Cu deposit from Gangdise metallogenic belt, Tibet[J]. *Geology in China*, 46(5): 1238–1240 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y C, Hou Z Q, Yang Z S, Tian S H, Song Y C, Yu Y S, Ma W. 2016. Geology and chronology of the Zhaofayong carbonate–hosted Pb–Zn ore cluster: Implication for regional Pb–Zn metallogenesis in the Sanjiang belt, Tibet[J]. *Gondwana Research*, 35: 15–26.
- Liu Yingchao, Hou Zengqian, Yu Yushuai, Tian Shihong, Li Yulong, Yang Zhusen. 2013. Characteristics and genesis of Lalongla MVT–like deposit in Changdu region, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4): 1407–1426 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuqi, Zhang Zhi, Li Guangming, Qing Chengshi, Zhang Linkui, Ling Chen, Ma Guotao. 2021. Geological characteristics and source of ore–forming materials of Xialonggang lead–zinc deposit in Zhaxikang ore concentration area, Tibet: Constraint of in–situ S isotope of sulfide[J]. *Mineralogy and Petrology*, 41(1): 93–105 (in Chinese with English abstract).
- Lu L, Qin Y, Li Z F, Yan L L, Jin X, Zhang K J. 2019. Diachronous closure of the Shuanghu Pale–Tethys Ocean: Constraints from the Late Triassic Tanggula arc–related volcanism in the East Qiangtang subterranean, Central Tibet[J]. *Lithos*, 328–329: 182–199.
- Luo K, Zhou J X, Feng Y X, Tonguc U, Ai N, Zhao J X, Zhang J W. 2020. In situ U–Pb Dating of calcite from the South China Antimony metallogenic belt[J]. *Iscience*, 23: 101575.
- Luo Mei, Pang Fengchu, Li Juchu, Xu Zhizhong, Deng Wuzhong, Li Guanqing, Liu Lijun. 2014. Metallogenic series study of ore deposits in the Tibet Qiangtang–Sanjiang district[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2556–2571 (in Chinese with English abstract).
- Luosang Jiancuo. 2020. Exploration Model and Metallogenic Prediction of Jisong Lead–zinc Deposit in Southern Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1–93 (in Chinese with English abstract).
- Ma Guanqing. 1998. Basic regional geological features of Tibet[J]. *Regional Geology of China*, 17(1): 16–24 (in Chinese with English abstract).
- Meng Yumiao, Hu Ruizhong, Gao Jianfeng, Bi Xianwu, Huang Xiaowen. 2016. Research progress on Sb geochemistry and Sb isotopes[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 35(4): 339–348 (in Chinese with English abstract).
- Miller M H. 1973. United States Mineral Resources[R]. Geological Survey Professional Paper 820, 45–50.
- Miao Huaqing, Li Guangming, Zhang Zhi, Xia Xiangbiao, Liang Wei. 2017. Origin of the Keyue Pb–Zn polymetallic deposit in southern Xizang: Evidences from sulfur and lead isotopic compositions[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(2): 14–22 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Hou Zengqian, Niu Yaoling, Dong Guochen, Qu Xiaoming, Zhao Zhidan, Yang Zhiming. 2007. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet[J]. *Lithos*, 96(1/2): 225–242.
- Mo Xuanxue, Pan Guitang. 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai–Tibet Plateau: constrained by tectono–magmatic events[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43–51 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Deng Jinfu, Dong Guochen, Zhou Su, Guo Tieying, Zhang Shuangquan, Wang Liangliang. 2003. Response of volcanism to the India–asia collision[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(2): 135–148 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue. 2011. Magmatism and evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Geological Journal of China Universities*, 17(3): 351–367 (in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Hu Peng, Jiang Sihong, Li Zhenqing, Liu Yan, Zhou Yongzhang. 2005. Type and temporal–spatial distribution of gold and Antimony deposits(prospects) in Southern Tibet, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(3): 373–385 (in Chinese with English abstract).
- Niu Lixian, Yu Lianghai, Zhang Shouting, Jia Wenlong, Xue Yazhou. 2012. Definition of China's predominant ore resources based on smart–roc[J]. *Resources Industries*, 14(1): 31–36 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto H. 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposit[J]. *Economic Geology*, 67(5): 551–578.
- Olivier R, John L, Yves F. 2003. Antimony isotope variations in natural

- systems and implications for their use as geochemical tracers[J]. *Chemical Geology*, 200: 25–40.
- Ou Q, Wang Q, Zeng J P, Yang J H, Zhang H X, Xia X P, Chen Y W. 2021. Petrogenesis and tectonic implications of Middle Triassic basalts and rhyolites in the northern Qiangtang Block, central Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 206: 104573.
- Pan G T, Wang L Q, Li R S, Yuan S H, Ji W H, Yin F G, Zhang W P, Wang B D. 2012. Tectonic evolution of the Qinghai–Tibet Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53: 3–14.
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, Ding Jun, Chen Zhiliang. 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai–Tibet Plateau and its adjacent regions[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 701–707 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Wang Liquan, Yin Fuguang, Geng Quanru, Li Guangming, Zhu Dicheng. 2022. Researches on geological–tectonic evolution of Tibetan Plateau: A review, recent advances, and directions in the future[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42(2): 151–175 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, Deng Jinfu, Feng Yimin, Zhang Kexin, Zhang Zhiyong, Wang Fangguo, Xing Guangfu, Hao Guojie, Feng Yanfang. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 36(1): 1–16 (in Chinese with English abstract).
- Panov B S, No L. 1989. The Xiguanshan antimony deposit, China[J]. *International Geology Review*, 31(1): 100–110.
- Pavlova G G, Borisenko A S. 2009. The age of Ag–Sb deposits of Central Asia and their correlation with other types of ore systems and magmatism[J]. *Ore Geology Reviews*, 35(2): 164–185.
- Peng Boyang, Chen Youliang, Liu Kun, He Zhongxiang, Yuan Wei. 2015. Exploring the mineralization pattern of antimony ore in Tibet[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(S1): 428–429 (in Chinese).
- Qi Xuexiang, Li Tianfu, Meng Xiangjin, Yu Chunlin. 2008. Cenozoic tectonic evolution of the Tethyan Himalayan foreland fault–fold belt in southern Tibet, and its constraint on antimony–gold polymetallic mineralogenesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1638–1648 (in Chinese with English abstract).
- Seal II R R, Schulz K J, DeYoung J H, Sutphin D M, Drew L J, Carlin J F, Berger B R. 2017. Antimony[R]. U. S. Geological Survey Professional Paper, 1802: 1–17.
- Shui X F, He Z Y, Reiner K, Zhang Z M, Lu T Y, Yan L L. 2018. Early Jurassic adakitic rocks in the southern Lhasa sub–terrene, southern Tibet: Petrogenesis and geodynamic implications[J]. *Geological Magazine*, 155(1): 132–148.
- Song Shaowei, Liu Ze, Zhu Dicheng, Wang Qing, Zhang Lixue, Zhang Liangliang, Zhao Zhidan. 2014. Zircon U–Pb chronology and Hf isotope of the Late Triassic andesitic magmatism in Dajiacuo, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 3100–3112 (in Chinese with English abstract).
- Stampfli G M, Hochard C, Vérard C. 2013. The formation of Pangea[J]. *Tectonophysics*, 593: 1–19.
- Sun X, Zheng Y Y, Franco P, McCuaig T C, Yu M, Xia S L, Song Q J, Chang H F. 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[J]. *Mineralium Deposita*, 53(3): 435–458.
- Sun X, Zheng Y Y, Pirajno F, Campbell M T, Yu M, Xia S L, Song Q J, Chang H F. 2017. 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[J]. *Mineralium Deposita*, 53(3): 435–458.
- Sun X, Zheng Y Y, Wang C M, Zhao Z Y, Geng X B. 2016. Identifying geochemical anomalies associated with Sb–Au–Pb–Zn–Ag mineralization in North Himalaya, southern Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 73: 1–20.
- Sun Yunkai. 2010. On the Metamorphism and Its Tectonic Significance in Gangdise Orogenic Zone of Qinghai–Tibet Plateau[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1–82 (in Chinese with English abstract).
- Tan Jun, Liao Jie. 2021. Exploring the prospect of finding gold–antimony ore in Gawal area, Tsomei County, Tibet[J]. *Inner Mongolia Coal Economy*, 328(11): 192–194 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Yang H H, Song Y, Wang L Q, Liu Z B, Li B L, Lin B. 2021. The copper polymetallic deposits and resource potential in the Tibet Plateau[J]. *China Geology*, 4(1): 1–16.
- Tao Yan, Bi Xianwu, Xin Zhonglei, Zhu Feilin, Lao Mingyang, Li Yubang. 2011. Geology, geochemistry and origin of Lanuoma Pb–Zn–Sb deposit in Changdu area, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 30(4): 599–615 (in Chinese with English abstract).
- Tao Yan, Zhu Feilin, Xin Zhonglei, Zhu Feilin, Liao Mingyang, Li Yubang. 2010. Exploring the metallogenic model of Lhanoma Pb–Zn–Antimony polymetallic mine in Changdu, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 29(S1): 283–284 (in Chinese).
- Taylor M, Yin A, Ryerson F J, Kapp P, Ding L. 2003. Conjugate strike–slip faulting along the Bangong–Nujiang suture zone accommodates coeval east–west extension and north–south shortening in the interior of the Tibetan Plateau[J]. *Tectonics*, 22(5): 1056.
- Tobgay T, Mc Quarrie N, Long S, Kohn M J, Corrie S L. 2012. The age and rate of displacement along the Main Central Thrust in the western Bhutan Himalaya[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 319–320: 146–158.
- UK House of Commons. 2011. Strategically Important Metals[R]. London: UK House of Commons.
- Wang C S, Dai J G, Zhao X X, Li Y L, Graham S, He D F, Ran B, Meng J. 2014. Outward–growth of the Tibetan Plateau during the Cenozoic: A review[J]. *Tectonophysics*, 621: 1–43.
- Wang C, Ding L, Zhang L Y, Kapp P, Pullen A, Yue Y H. 2016. Petrogenesis of Middle–Late Triassic volcanic rocks from the Gangdese belt, southern Lhasa terrane: Implications for early subduction of Neo–Tethyan oceanic lithosphere[J]. *Lithos*, 262: 320–333.

- Wang D, Mathur R, Zheng Y Y, Qiu K F, Wu H J. 2021. Redox-controlled antimony isotope fractionation in the epithermal system: New insights from a multiple metal stable isotopic combination study of the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag deposit in Southern Tibet[J]. *Chemical Geology*, 584: 1-16.
- Wang D, Sun X, Zheng Y Y, Wu S, Xia S L, Chang H F, Yu M. 2017. Two pulses of mineralization and genesis of the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag deposit in southern Tibet: Constraints from Fe-Zn isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 84: 347-363.
- Wang D, Zheng Y Y, Mathur R, Jiang J S, Zhang S K, Zhang J F. 2019. Miao Yu Multiple mineralization events in the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag deposit and their relationship with the geodynamic evolution in the North Himalayan Metallogenic Belt, South Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 105: 201-215.
- Wang D, Zheng Y Y, Mathur R, Qiu K F, Wu H J, Ren H, Wang E R, Li Y J, Yi J Z. 2021. Zinc and cadmium isotopic constraints on ore formation and mineral exploration in epithermal system: A reconnaissance study at the Keyue and Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag deposits in southern Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 139: 1-20.
- Wang Da. 2018. The Isotope Geochemistry Research of the Zhaxikang Sb-Pb-Zn-Ag Deposit in Southern Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1-161 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Jue. 2005. Cenozoic Mineralization in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-778(in Chinese).
- Wang Q, Wyman D A, Xu J F, Dong Y H, Vasconcelos P M, Pearson N, Wan Y S, Dong H, Li C F, Yu Y S, Zhu T X, Feng X T, Zhang Q Y, Zi F, Chu Z Y. 2008. Eocene melting of subducting continental crust and early uplifting of central Tibet: Evidence from central-western Qiangtang high-K calc-alkaline andesites, dacites and rhyolites[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 272(1/2): 158-171.
- Wang Qingfei, Deng Jun, Weng Weijun, Li Huajian, Wang Xuan, Li Gongjian. 2020. Cenozoic orogenic gold system in Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 36(5): 1315-1353 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiyu, Mou Chuanlong, Zhoukenen. 2012. Comparative Early Paleozoic sedimentation and tectonic-basin response in the north-south part of the Gondis-Himalayan region[C]//The 12th National Conference on Paleogeography and Sedimentology, 16-17(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei. 2002. A preliminary investigation of the basic characteristics and genesis of the Meiduo antimony mine[J]. *Tibetan Geology*, (2): 37-44 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Jue, Chen Zhenghui, Liang Ting. 2013. The principal antimony concentration areas in China and their resource potentials[J]. *Geology in China*, 40(5): 1366-1378 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Wang Denghong, Wang Yan, Xu Jue, Ding Jianhua, Cai Jianhui, Huang Fan, Dai Hongzhang, Liang Ting, Wang Dongming, Jiang Biao, Fang Guicong, Lin Bin, Li Yang, Shu Zhiming, Luo Yunyi, Li Zhiming. 2021. *Geology of Mineral Resources in China: Antimony Deposit* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-885(in Chinese).
- Wang Yonglei, Xu Jue, Zhang Changqin, Wang Chenghui, Chen Zhenghui, Huang Fan. 2014. Summary of metallogenic regularities of Antimony deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2208-2215 (in Chinese with English abstract).
- Wen C, Pan G T, Zhang X F, Wang L Q, Zhoujia X L. 2021. Tectonic evolution and multi-episodic metallogenesis of the Sanjiang Paleo-Tethys multi-arc-basin-terrane system, SW Tibetan Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 221: 104932.
- Williams H, Turner S, Kelley S, Harris N. 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet: New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to postcollisional volcanism[J]. *Geology*, 29(4): 339-342.
- Wu J D. 1993. Antimony vein deposits of China[J]. *Ore Geology Reviews*, 8(3/4): 213-232.
- Xiao Qiming, Zeng Duren, Jin Fuqiu, Yang Mingyue, Yang Zhifang. 1992. Time-space distribution feature and exploration guide of China's Sb-deposits[J]. *Geology and Prospecting*, (12): 9-14 (in Chinese with English abstract).
- Xie Y L, Li L M, Wang B G, Li G M, Liu H F, Li Y X, Dong S L, Zhou J J. 2017. Genesis of the Zhaxikang epithermal Pb-Zn-Sb deposit in southern Tibet, China: Evidence for a magmatic link[J]. *Ore Geology Reviews*, 80: 891-909.
- Xie Yuling, Yang Kejun, Li Yingxu, Li Guangming, Qu Yunwei, Dong Lei. 2019. Mazhala gold-antimony deposit in southern Tibet: The characteristics of ore-forming fluids and the origin of gold and antimony[J]. *Earth Science*, 44(6): 1998-2016 (in Chinese with English abstract).
- Xing L, Li W C, Liu J, Zang M, Yang F C, Liu H, Liu W G, Li G, Liu B. 2022. Mineralization timing and genesis of the Qukulekedong Au-Sb deposit in the East Kunlun Orogenic Belt, northern Tibetan Plateau: Constraints from arsenopyrite Re-Os ages, zircon U-Pb ages, and Lu-Hf isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 143: 1-20.
- Xizang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. *Regional Geology of Tibet*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Xizang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1997. *Rock Stratigraphy of Tibet Autonomous Region*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 229(in Chinese).
- Xu C X, Yin R S, Peng J T, Hurley J P, Lepak R F, Gao J F, Feng X B, Hu R Z, Bi X W. 2018. Mercury isotope constraints on the source for sediment-hosted lead-zinc deposits in the Changdu area, southwestern China[J]. *Mineralium Deposita*, 53: 339-352.
- Xu Z Q, Dilek Y, Yang J S, Liang F H, Liu F, Ba D Z, Cai Z H, Li G W, Dong H W, Ji S C. 2015. Crustal structure of the Indus-Tsangpo suture zone and its ophiolites in southern Tibet[J]. *Gondwana Research*, 27(2): 507-524.
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li

- Houmin. 2008. Zoning Scheme of Mineralization in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–138(in Chinese).
- Yan Shenghao, Yu Jinjie, Zhao Yixin, Xu Zhizhong, Wan Anjian, Su Denqkui. 2003. Geological and geochemical characteristics of ore-hosted siliceous rocks in Meiduo Antimony Deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 22(2): 149–157 (in Chinese with English abstract).
- Yan Shenghao, Yu Jinjie, Zhao Yixin, Xu Zhizhong, Wang Anjian, Teng Rongli. 2004. Geology and geochemistry of the Meiduo antimony ore belt in northern Tibet: Its origin and geodynamic setting[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(5): 541–548 (in Chinese with English abstract).
- Yan Yucheng. 2017. Exploring the genesis of the Ranoma Pb–Zn polymetallic deposit[J]. *Xinjiang Nonferrous Metals*, 40(5): 22–25 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhusen, Hou Zengqian, Gao Wei, Wang Haiping, Li Zhenqing, Meng Xiangjin, Qu Xiaoming. 2006. Metallogenic characteristics and genetic model of antimony and gold deposits in South Tibetan detachment system[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1377–1391 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z S, Hou Z Q, Meng X J, Liu Y C, Fei H C, Tian S H, Li Z Q, Gao W. 2009. Post-collisional Sb and Au mineralization related to the South Tibetan detachment system, Himalayan orogens[J]. *Ore Geology Review*, 36(1/3): 194–212.
- Yin A, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan–Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211–280.
- Yin Fuguang. 2003. Nature and origin of the central uplift in the Qiangtang Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(2): 143–145 (in Chinese with English abstract).
- You Qin. 2015. The Study on Primary Halos of the Nongruri Gold Deposit, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1–99 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinjie. 2001. Mineralization of Antimony Metallogenic Zone in Northern Tibet and A Simple Comparison of Antimony Metallogenic Zones in Northern Tibet and Southern Tibet[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 1–91 (in Chinese with English abstract).
- Zeng G P, Gong Y J, Hu X L, Xiong S F. 2017b. Geology, fluid inclusions, and geochemistry of the Zhazixi Sb–W deposit, Hunan, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 91: 1025–1039.
- Zeng G P, Gong Y J, Wang Zhaofei F, Hu X L, Xiong S F. 2017a. Structures of the Zhazixi Sb–W deposit, South China: Implications for ore genesis and mineral exploration[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 182: 10–21.
- Zeng L S, Gao L, Xie K J, Zeng J L. 2011. Mid–Eocene high Sr/Y granites in the Northern Himalayan gneiss domes: Melting thickened lower continental crust[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 303(3/4): 251–266.
- Zhai D G, Mathur R, Liu S G, Liu J J, Godfrey L, Wang K X, Xu J W, Vervoort J. 2021. Antimony isotope fractionation in hydrothermal systems[J]. *Geological Journal*, 306: 84–97.
- Zhai Q G, Jahn B, Wang J, Su L, Mo X X, Wang K L, Tang S H, Lee H Y. 2013. The Carboniferous ophiolite in the middle of the Qiangtang terrane, Northern Tibet: SHRIMP U–Pb dating, geochemical and Sr–Nd–Hf isotopic characteristics[J]. *Lithos* 168–169: 186–199.
- Zhai W, Sun X M, Yi J Z, Zhang X G, Mo R W, Zhou F, Wei H X, Zeng Q G. 2014. Geology, geochemistry, and genesis of orogenic gold–antimony mineralization in the Himalayan Orogen, South Tibet, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 58: 68–90.
- Zhai Wei, Zheng Siqi, Sun Xiaoming, Wei Hhuixiao, Mo Ruwei, Zhang Llingyu, Zhou Feng, Yi Jianzhou. 2018. He–Ar isotope compositions of orogenic Mazhala Au–Sb and Shalagang Sb deposits in Himalayan orogeny, southern Tibet: Constrains to ore-forming fluid origin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(12): 3525–3538 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Changlin. 2013. Characteristics and Mineralization Prediction of the Lhanoma Pb–Zn Deposit in Changdu, Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–45 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Gangyang, Zheng Youye, Zhang Jianfang, Zhang Sukun, Fan Zihui. 2011. Ore-control structural and geochronologic constrain in Shalagang antimony deposit in southern Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2143–2149 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Gangyang. 2012. Metallogenic Model and Prospecting Potential in Southern Tibet Au–Sb Polymetallic Belt[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–197 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guolin, Yao Jinyan, Gu Xiangping. 1998. Time and spatial distribution regularities and deposit types of antimony in China[J]. *Mineral Resources and Geology*, (5): 306–312 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J J, Santosh M, Wang X X, Guo L, Yang X Y, Zhang B. 2012. Tectonics of the northern Himalaya since the India–Asia collision[J]. *Gondwana Research*, 21(4): 939–960.
- Zhang Jianfang, Zheng Youye, Zhang Gangyang, Gao Shunbao, Ye Xianren, Zhang Zhong, Liu Minyuan, Li Jiqui. 2010. Genesis of Zhaxikang Pb–Zn–Sb–Ag Deposit in Northern Himalaya: Constraints from multi-isotope geochemistry[J]. *Earth Science*, 35(6): 1000–1010 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianfang, Zheng Youye, Zhang Gangyang, Gong Ruijun. 2011. Geologic characteristic and mineralization of Mazhala gold–antimony deposit in Northern Himalaya[J]. *Gold Geology*, 1(32): 20–24 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianfang. 2010. The Genesis Study of Zhaxikang Lead Zinc Antimony Silver Deposit, North Himalayan[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 1–96 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinjiang, Ding Lin. 2003. East–west extension in tibetan plateau and its significance to tectonic evolution[J]. *Chinese Journal of Geology*, 38(2): 179–189 (in Chinese with English abstract).

- Zhang Lei, Zhong Kanghui, Zhao Hongfei, Bai Ronglong. 2016. Analysis of the mineralization and metallogenic model of Meiduo hydrothermal antimony-silver deposit[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, (1): 12–15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Min, Liu Xianfan, Feng Dexin, Huang Yupeng, Li Wei, Dong Yi. 2013. Mineral characterization of the Lanoma lead-antimony-zinc deposit in Tibet[J]. *Geological Journal of China Universities*, 19: 204–205 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Sukun. 2013. Geological and Geochemical Characteristics of Zhaxikang Antimony Polymetallic Deposit, Southern Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Suoxu, Liu Boen, Ma Penglin. 2019. The relevant enlightenment of the strategic adjustment of critical minerals in the United States[J]. *Natural Resource Economics of China*, 32(7): 38–45 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Tianyu, Li Congying, Sun Saijun, Hao Xiluo. 2020. Geochemical characteristics of antimony and genesis of antimony deposits in South China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 36(1): 44–54 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z J, Wang Y H, Houseman G A, Xu T, Wu Z B, Yuan X H, Chen Y, Tian X B, Bai Z M, Teng J W. 2014. The Moho beneath western Tibet: Shear zones and eclogitization in the lower crust[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 408: 370–377.
- Zhang Z Y, Xie G Q, Olin P. 2020. Texture, in-situ geochemical, and S isotopic analyses of pyrite and arsenopyrite from the Longshan Sb-Au deposit, southern China: Implications for the genesis of intrusion-related Sb-Au deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 143: 347–363.
- Zhang Zhi, Li Guangming, Zhang Linkui. 2022. Exploration and research progresses of rare metals in Himalayan belt, Tibet[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42(2): 176–188 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yiming, Wu Liangshi, Bai Ge. 2004. Mineralization Pattern of Major Metal Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 194–221(in Chinese).
- Zheng W B, Liu B L, McKinley J M, Cooper M R, Wang L. 2021. Geology and geochemistry-based metallogenic exploration model for the eastern Tethys Himalayan metallogenic belt, Tibet[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 224: 1–20.
- Zheng Youye, Liu Minyuan, Sun Xiang, Yuan Enhui, Tian Iiming, Zheng Haitao, Zhang Gangyang, Zhang Lihua. 2012. Type, discovery process and significance of Zhaxikang antimony polymetallic ore deposit, Tibet[J]. *Earth Science*, 37(5): 1003–1014 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Youye, Wang Da, Yi Jianzhou, Yu Zezhang, Jiang Zongyang, Li Xiaoxia, Shi Gongwen, Xu Jian, Liang Yuchun, Dou Xiaofeng, Ren Huan. 2022. Antimony mineralization and prospecting orientation in the North Himalay-an metallogenic belt, Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 29(1): 200–230 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Youye, Zhao Yongxin, Wang Ping, Fan Wenyu, Chen Jing, Cao Xinzi, Zhang Xiaobao. 2004. Significant progress in the study of mineralization rules and mineralization search in the gold-antimony metallogenic belt of southern Tibet[J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 29(1): 44–45 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Delai, Zhong Kanghui, Feng Dexin, Li Guanqing, Gou Jin, Han Wenwen. 2011. Lead-zinc polymetallic deposits in the Tibet Autonomous Region La Nuoma geological characteristics and exploration potential analysis and then discuss[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, (4): 15–20 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Ji. 2018. Study on the Mineralization of Zhaxikang lead-zinc-antimony Polymetallic Deposit in Longzi County, Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–84 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Q, Li W C, Qing C S, Lai Y, Li Y X, Liao Z W, Wu J Y, Wang S W, Dong L, Tian E Y. 2017. Origin and tectonic implications of the Zhaxikang Pb-Zn-Sb-Ag deposit in northern Himalaya: Evidence from structures, Re-Os-Pb-S isotopes, and fluid inclusions[J]. *Mineralium Deposita*, 53(4): 585–600.
- Zhou Tiancheng. 2015. Characteristics of Gold-Bearing Minerals and its Significance in Gold-Antimony Polymetallic Metallogenic Belt, Southern Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–62 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yanjing, Li Jianwu, Wang Gaoshang, Xia Ye, Qiu Nanping. 2014. Distribution and development situation of global antimony resources[J]. *China Mining Magazine*, 23(10): 13–16 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Z J, Chen Z L, Han F B, Han S Q, Wang Z X, Xiao W F, Shen T, Wu J J. 2018. Fluid inclusion and isotope geochemistry of the Atebayue Sb deposit, South Tianshan Orogen, Kyrgyzstan[J]. *Geological Journal*, 53: 1050–1060.
- Zhu D C, Chung S L, Mo X X, Zhao Z D, Niu Y L, Sonbiao G, Yang Y H. 2009. The 132 Ma Comei-Bunbury large igneous province: Remnants identified in present-day southeastern Tibet and southwestern Australia[J]. *Geology*, 37: 583–586.
- Zhu D C, Mo X X, Pan G T, Zhao Z D, Dong G C, Shi Y R, Liao Z L, Wang L Q, Zhou C Y. 2008. Petrogenesis of the earliest Early Cretaceous mafic rocks from the cona area of the eastern Tethyan Himalaya in south Tibet: Interaction between the incubating Kerguelen plume and the eastern Greater India lithosphere[J]. *Lithos*, 100: 147–173.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Mo X X, Chung S L, Hou Z Q, Wang L Q, Wu F Y. 2011b. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 301(1/2): 241–255.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Yildirim D, Hou Z Q, Mo X X. 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan plateau[J]. *Gondwana Research*, 23: 1429–1454.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Yildirim D, Mo X X. 2011a. Lhasa Terrane in south-ern Tibet came from Australia[J]. *Geology*, 39: 727–730.

Zou Guangfu. 2016. Geotectonic evolution and mineralization of the Qinghai-Tibet Plateau[C]//Proceedings of the Conference on New Advances in Spatial Information Technology for Resources, Environment and Geology. Chengdu: College of Geosciences, Chengdu University of Technology, 3-6(in Chinese).

附中文参考文献

阿旺加措, 郑有业, 杨万涛, 索朗欧珠. 2017. 藏南柯月铅锌多金属矿床矿物标型特征及成矿物质来源[J]. 地质科技情报, 36(3): 53-63.

边巴仁青, 陈黎, 周维德. 2019. 西藏措美县拉琼金锑矿成矿地质特征及找矿远景分析[J]. 西部资源, (6): 36-37.

补西川, 刘世安. 2018. 安多县尕尔西姜锑矿床特征及矿床成因[J]. 世界有色金属, (19): 110-112.

陈文庆, 詹勇. 2018. 西藏朗县普容朗辉锑矿地质特征及找矿潜力[J]. 华东科技(综合), (7): 349-350.

陈文西, 王建. 2009. 藏北羌塘盆地晚三叠世地层特征与对比[J]. 中国地质, 36(4): 809-818.

陈毓川. 1999. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京: 地震出版社.

陈毓川, 王登红. 2001. 喜马拉雅期内生矿作用研究[M]. 北京: 地震出版社.

陈毓川, 王登红, 李厚民, 熊先孝, 高兰, 徐志刚. 2010. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 1-222.

代克刚. 2013. 西藏自治区双湖特别区阿杂陇巴锑矿地质特征及找矿方向[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-54.

邓万明. 1998. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京: 地质出版社.

邓舟, 张刚阳, 郑有业, 陈友良. 2019. 藏南车穷卓布锑矿 S、Pb 同位素对成矿物质来源的指示[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 42(3): 337-345.

丁建华, 杨毅恒, 邓凡. 2013. 中国锑矿资源潜力及成矿预测[J]. 中国地质, 40(3): 846-858.

丁林, 蔡福龙, 张清海, 张利云, 许强, 杨迪, 刘德亮, 钟大赉. 2009. 冈底斯—喜马拉雅碰撞造山带前陆盆地系统及构造演化[J]. 地质科学, 44(4): 1289-1311.

丁林, Satybaev Maksatbek, 蔡福龙, 王厚起, 宋培平, 纪伟强, 许强, 张利云, Qasim Muhammad, Baral Upendra. 2017. 印度与欧亚大陆初始碰撞时限、封闭方式和过程[J]. 中国科学: 地球科学, 47(3): 293-309.

杜晓飞. 2014. 西藏隆子县柯月铅锌锑银矿床流体包裹体研究[D]. 成都: 成都理工大学, 1-64.

杜泽忠, 顾雪祥, 李关清, 章永梅, 程文斌, 景亮兵, 张兴国. 2011. 藏南拉木由塔锑(金)矿床 S、Pb 同位素组成及指示意义[J]. 现代地质, 25(5): 853-860.

付伟, 周永章, 杨志军, 聂凤军, 何俊国, 李文. 2005. 藏南多层位金锑含矿建造特征及其控矿因素制约[J]. 大地构造与成矿学, 29(3): 321-327.

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[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-87.

高永丰, 侯增谦, 魏瑞华, 孟祥金, 胡华斌. 2006. 冈底斯基性次火山岩地球化学 Sr-Nd-Pb 同位素特征: 碰撞后火山作用亏损地幔区的约束[J]. 岩石学报, 22(3): 547-557.

侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 36(4): 809-818.

侯增谦, 宋玉财, 李政, 王召林, 杨志明, 杨竹森, 刘英超, 田世洪, 何龙清, 陈开旭, 王富春, 赵呈祥, 薛万文, 鲁海峰. 2008a. 青藏高原碰撞造山带 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型[J]. 矿床地质, 27(2): 123-144.

侯增谦, 王二七, 莫宣学, 丁林, 潘桂棠, 张中杰. 2008b. 青藏高原碰撞造山与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.

黄丰, 许继峰, 王保弟, 曾云川, 刘希军, 刘函, 余红霞. 2020. 印度—亚洲大陆碰撞过程中新特提斯洋岩石圈的命运[J]. 地球科学, 45(8): 2765-2803.

黄卫. 2002. 美多锑矿的基本特征和成因初探[J]. 西藏地质, (2): 37-44.

江思宏, 聂凤军, 胡朋, 刘妍, 赖新荣. 2007. 藏南基性岩墙群的地球化学特征[J]. 地质学报, 81(1): 60-72.

李保亮, 王立强, 张相国, 平措多吉, 高腾, 王勇. 2022. 西藏哈姆曲锑(金)矿床曲珍矿段 S、Pb 同位素组成及意义[J]. 地球学报, 43(2): 202-210.

李光明, 张林奎, 焦彦杰, 夏祥标, 董随亮, 付建刚, 梁维, 张志, 吴建阳, 董磊, 黄勇. 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[J]. 矿床地质, 36(4): 1003-1008.

李金高, 王全海, 陈健坤, 姚鹏, 彭勇民. 2002. 西藏江孜县沙拉岗锑矿床成矿与找矿模式的初步研究[J]. 成都理工大学学报, 29(5): 533-538.

李璞. 1955. 西藏东部地质的初步认识[J]. 科学通报, (7): 62-71.

李廷栋. 1995. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. 地球学报, (1): 1-9.

李廷栋. 2002. 青藏高原地质科学研究的新进展[J]. 地质通报, 21(7): 370-376.

李应栩, 李光明, 董磊, 张林奎, 吴建阳, 周邦国, 夏祥标, 代作文. 2018. 西藏马扎拉金矿区外围地质特征与找矿方向[J]. 沉积与特提斯地质, 38(3): 88-98.

李志泰, 徐打, 王连峰, 王强, 蒋映德. 2020. 西藏然巴地区十字石-蓝晶石云母片岩变质作用研究: 对始新世淡色花岗岩成因的启示[J]. 大地构造与成矿学, 44(6): 1190-1207.

梁维, 李光明, 巴桑元旦, 张林奎, 付建刚, 黄勇, 张志, 王艺云, 曹华文. 2021. 喜马拉雅带片麻岩穹窿成矿作用—以扎西康矿集区错那洞穹窿为例[J]. 矿床地质, 40(5): 932-948.

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

梁维, 郑远川, 杨竹森, 李振清, 刘英超, 刘云飞, 李秋耘, 孙清钟, 付强, 侯增谦. 2014. 藏南扎西康铅锌银锑多金属矿多期多阶段成矿特征及其指示意义[J]. 岩石矿物学, 33(1): 64-78.

梁维. 2014. 特提斯喜马拉雅金锑铅锌成矿带成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-151.

林彬, 唐菊兴, 郑文宝, 王艺云, 高一鸣, 林鑫, 杨欢欢, 冷秋锋, 李晓童, 唐晓倩, 付燕刚. 2016. 西藏柯月铅多金属矿床地质特征及成

- 矿时代初步研究[J]. 矿床地质, 35(1): 33-50.
- 刘洪, 李光明, 黄瀚霄, 张林奎, 吕梦鸿, 兰双双, 解惠. 2019. 西藏冈底斯成矿带发现晚三叠世斑岩型铜矿[J]. 中国地质, 46(5): 1238-1240.
- 刘英超, 侯增谦, 于玉帅, 田世洪, 李玉龙, 杨竹森. 2013. 西藏昌都地区拉拢拉类 MVT 铅锌矿床矿化特征与成因研究[J]. 岩石矿物学杂志, 29(4): 1407-1426.
- 刘宇奇, 张志, 李光明, 卿成石, 张林奎, 凌晨, 马国桃. 2021. 西藏扎西康矿集区夏隆岗铅锌矿床地质特征及其成矿物质来源研究: 硫化物原位 S 同位素制约[J]. 矿物岩石, 41(1): 93-105.
- 罗梅, 潘凤雏, 李巨初, 徐志忠, 邓午忠, 李关清, 刘丽君. 2014. 西藏羌塘—三江区金属矿床成矿系列研究[J]. 地质学报, 88(12): 2556-2571.
- 洛桑尖措. 2020. 西藏山南吉松铅锌矿床勘查模型与成矿预测[D]. 成都: 成都理工大学, 1-93.
- 马冠卿. 1998. 西藏区域地质基本特征[J]. 中国区域地质, 17(1): 16-24.
- 孟郁苗, 胡瑞忠, 高剑峰, 毕献武, 黄小文. 2016. 锑的地球化学行为以及锑同位素研究进展[J]. 岩矿测试, 35(4): 339-348.
- 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.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 10(2): 135-148.
- 莫宣学. 2011. 岩浆作用与青藏高原演化[J]. 高校地质学报, 17(3): 351-367.
- 缪华清, 李光明, 张志, 夏祥标, 梁维. 2017. 藏南柯月铅锌矿床成矿物质来源: 来自硫—铅同位素的证据[J]. 沉积与特提斯地质, 37(2): 14-22.
- 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 李振清, 刘妍, 周永章. 2005. 藏南地区金和锑矿床(点)类型及其时空分布特征[J]. 地质学报, 79(3): 373-385.
- 牛丽贤, 余良晖, 张寿庭, 贾文龙, 薛亚洲. 2012. 中国优势矿产资源界定研究: 基于 SMART-ROC 简易多属性评等技术[J]. 资源与产业, 14(1): 31-36.
- 潘桂棠, 李振兴, 王立全, 丁俊, 陈智梁. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 21(11): 701-707.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521-533.
- 潘桂棠, 王立全, 尹福光, 耿全如, 李光明, 朱弟成. 2022. 青藏高原形成演化研究回顾、进展与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 42(2): 151-175.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-16.
- 彭渤海, 陈友良, 刘堃, 何忠席, 袁为. 2015. 西藏地区锑矿成矿规律探讨[J]. 矿物学报, 35(S1): 428-429.
- 戚学祥, 李天福, 孟祥金, 于春林. 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[J]. 岩石学报, 24(7): 1638-1648.
- 宋绍玮, 刘泽, 朱弟成, 王青, 张立雪, 张亮亮, 赵志丹. 2014. 西藏打加错晚三叠世安山质岩浆作用的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素[J]. 岩石学报, 30(10): 3100-3112.
- 孙云镞. 2010. 青藏高原冈底斯造山带变质地质作用及其大地构造意义[D]. 成都: 成都理工大学, 1-82.
- 谭军, 廖杰. 2021. 西藏措美县嘎瓦勒地区金锑矿找矿远景探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 328(11): 192-194.
- 陶琰, 毕献武, 辛忠雷, 朱飞霖, 廖名扬, 李玉帮. 2011. 西藏昌都地区拉诺玛铅锌锑多金属矿床地质地球化学特征及成因分析[J]. 矿床地质, 30(4): 599-615.
- 陶琰, 朱飞霖, 辛忠雷, 朱飞霖, 廖名扬, 李玉帮. 2010. 西藏昌都地区拉诺玛铅锌锑多金属成矿模式探讨[J]. 矿床地质, 29(S1): 283-284.
- 王达. 2018. 藏南扎西康锑铅锌银矿床同位素地球化学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-161.
- 王登红, 陈毓川, 徐珏. 2005. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1-778.
- 王启宇, 牟传龙, 周恳恳. 2012. 冈底斯—喜马拉雅地区南北部早古生代沉积对比与构造—盆地响应[J]. 第十二届全国古地理学及沉积学学术会议, 2.
- 王庆飞, 邓军, 翁伟俊, 李华健, 王璇, 李龚健. 2020. 青藏高原新生代造山型金成矿系统[J]. 岩石学报, 36(5): 1315-53.
- 王永磊, 陈毓川, 王登红, 徐珏, 陈郑辉, 梁婷. 2013. 中国锑矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 40(5): 1366-1378.
- 王永磊, 王登红, 王岩, 徐珏, 丁建华, 蔡剑辉, 黄凡, 代鸿章, 梁婷, 王东明, 江彪, 方贵聪, 林彬, 李阳, 舒志明, 罗允义, 李智明. 2021. 中国矿产地质志—锑矿卷[M]. 北京: 地质出版社, 1-885.
- 王永磊, 徐珏, 张长青, 王成辉, 陈郑辉, 黄凡. 2014. 中国锑矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 88(12): 2208-2215.
- 西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 西藏自治区地质矿产局. 1997. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 肖启明, 曾笃仁, 金富秋, 杨明跃, 阳志芳. 1992. 中国锑矿床时空分布规律及找矿方向[J]. 地质与勘探, (12): 9-14.
- 谢玉玲, 杨科君, 李应棚, 李光明, 曲云伟, 董磊. 2019. 藏南马扎拉金—锑矿床: 成矿流体性质和成矿物质来源[J]. 地质学报, 44(6): 1998-2016.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 1-138.
- 闫升好, 余金杰, 赵以辛, 徐志忠, 王安建, 粟登遼. 2003. 藏北美多锑矿床容矿硅质岩的地质地球化学特征及成因[J]. 矿床地质, 22(2): 149-157.
- 闫升好, 余金杰, 赵以辛, 徐志忠, 王安建, 滕荣丽. 2004. 藏北美多锑矿带地质地球化学特征及其地球动力学背景探讨[J]. 地球学报, 25(5): 541-548.
- 闫玉城. 2017. 拉诺玛铅锌多金属矿床成因探讨[J]. 新疆有色金属, 40(5): 22-25.
- 杨竹森, 侯增谦, 高伟, 王海平, 李振清, 孟祥金, 曲晓明. 2006. 藏南拆离系锑金成矿特征与成因模式[J]. 地质学报, 80(9): 1377-1391.

- 尹福光. 2003. 羌塘盆地中央隆起性质与成因[J]. *大地构造与成矿学*, 27(2): 143-145.
- 游钦. 2015. 西藏弄如日金矿原生晕研究[D]. 成都: 成都理工大学, 1-99.
- 余金杰. 2001. 藏北锑矿带矿床地质特征及与藏南锑矿带粗略对比[D]. 北京: 中国地质科学院, 1-91.
- 翟伟, 郑思琦, 孙晓明, 韦慧晓, 莫儒伟, 张凌宇, 周峰, 易建洲. 2018. 藏南喜马拉雅造山带造山型马扎拉 Au-Sb 矿床和沙拉岗 Sb 矿床流体包裹体 He-Ar 同位素组成: 对成矿流体来源的制约[J]. *岩石学报*, 34(12): 3525-3538.
- 张昌林. 2013. 西藏昌都地区拉诺玛铅锌矿床特征及成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-45.
- 张刚阳, 郑有业, 张建芳, 张苏坤, 樊子晖. 2011. 西藏沙拉岗锑矿床构造及成矿时代约束[J]. *岩石学报*, 27(7): 2143-2149.
- 张刚阳. 2012. 藏南金锑多金属成矿带成矿模式与找矿前景研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-197.
- 张国林, 姚金炎, 谷相平. 1998. 中国锑矿床类型及时空分布规律[J]. *矿产与地质*, (5): 306-312.
- 张建芳. 2010. 北喜马拉雅扎西康铅锑银矿床成因研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 1-96.
- 张建芳, 郑有业, 张刚阳, 高顺宝, 叶先仁, 张众, 刘敏院, 李及秋. 2010. 北喜马拉雅扎西康铅锑银矿床成因的多元同位素制约[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 35(6): 1000-1010.
- 张建芳, 郑有业, 张刚阳, 龚瑞君. 2011. 西藏北喜马拉雅马扎拉金锑矿床地质特征及成矿作用[J]. *黄金地质*, 1(32): 20-24.
- 张进江, 丁林. 2003. 青藏高原东西向伸展及其地质意义[J]. *地质科学*, 38(2): 179-189.
- 张磊, 钟康惠, 赵洪飞, 白荣龙. 2016. 美多热液型锑银矿床成矿模式探讨[J]. *四川有色金属*, (1): 12-15.
- 张民, 刘显凡, 冯德新, 黄玉蓬, 李伟, 董毅. 2013. 西藏拉诺玛铅锑矿床矿物特征分析[J]. *高校地质学报*, 19(增刊): 204-205.
- 张苏坤. 2013. 藏南扎西康锑多金属矿床地质与地球化学特征[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-119.
- 张所续, 刘伯恩, 马朋林. 2019. 美国关键矿产战略调整对我国的启示[J]. *中国国土资源经济*, 32(7): 38-45.
- 张天羽, 李聪颖, 孙赛军, 郝锡萃. 2020. 锑的地球化学性质与华南锑矿带成因初探[J]. *岩石学报*, 36(1): 44-54.
- 张志, 李光明, 张林奎. 2022. 西藏喜马拉雅带稀有金属矿勘查与研究进展[J]. *沉积与特提斯地质*, 42(2): 176-188.
- 赵一鸣, 吴良士, 白鸽, 袁忠信. 2004. 中国主要金属矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 194-221.
- 郑有业, 王达, 易建洲, 余泽章, 蒋宗洋, 李晓霞, 史功文, 许剑, 梁遇春, 豆孝芳, 任欢. 2022. 西藏北喜马拉雅成矿带锑金属成矿作用及找矿方向[J]. *地学前缘*, 29(1): 200-230.
- 郑有业, 赵永鑫, 王苹, 范文玉, 陈静, 曹新志, 张晓保. 2004. 藏南金锑成矿带成矿规律研究及找矿取得重大进展[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 29(1): 44-45.
- 郑有业, 刘敏院, 孙祥, 原恩会, 田立明, 郑海涛, 张刚阳, 张立华. 2012. 西藏扎西康锑多金属矿床类型、发现过程及意义[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 37(5): 1003-1014.
- 《中国矿床》编委会. 1989. 中国矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1-544.
- 中国有色金属工业总公司地质勘查总局. 1996. 中国锑矿地质及矿床实例[M]. 北京: 北京矿产地质研究所.
- 周德来, 钟康惠, 冯德新, 李关清, 苟金, 韩文文. 2011. 西藏自治区拉诺玛铅锑多金属矿床成矿地质特征再研讨与找矿远景分析[J]. *四川有色金属*, (4): 15-20.
- 周继. 2018. 西藏隆子县扎西康铅锑多金属矿成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-84.
- 周天成. 2015. 藏南金锑多金属成矿带载金矿物特征及其指示意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-62.
- 周艳晶, 李建武, 王高尚, 夏焱, 邱南平. 2014. 全球锑矿资源分布及开发现状[J]. *中国矿业*, 23(10): 13-16.
- 邹光富. 2016. 青藏高原的大地构造演化与成矿作用[C]//资源环境与地学空间信息技术新进展学术会议论文集. 成都: 成都理工大学地球科学学院, 3-6.