

冷秋锋, 李文昌, 戴成龙, 等, 2023. 西藏那茶淌铅锌矿床 S-Pb 同位素组成及其示踪成矿物质来源[J]. 沉积与 特提斯地质, 43(1): 168-179. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.01014 LENG Q F, LI W C, DAI C L, et al., 2023. Sulfur and lead isotope composition tracing for the ore-forming material source of Nachatang Pb-Zn deposit in Tibet[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 43(1): 168-179. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.01014

西藏那茶淌铅锌矿床 S-Pb 同位素组成及其示踪成矿物质来源

冷秋锋^{1,2},李文昌¹,戴成龙^{2*},唐攀²,陈明³

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081; 2. 成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059;3. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,四川 成都 610213)

摘要:那茶淌矿床位于西藏冈底斯-念青唐古拉成矿带东段,为近年发现的具中—-大型远景规模的砂卡岩型铅锌矿床,其成 矿物质来源及其成矿背景还缺乏详细调查,制约了矿床成因的深入研究。本文在矿床地质特征研究基础上,对砂卡岩型矿 石中主要金属矿物闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿的 S、Pb 同位素组成进行分析,探讨矿床成矿物质来源,并与区域上典型铅 锌矿床进行对比,总结区域成矿规律。结果显示,那茶淌矿床金属硫化物的 6³⁴S(‰)值变化于-1.6‰~4.2‰之间,平均 值为 1.4‰,其频率直方图呈正太分布形式,具幔源硫特征。金属硫化物的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值为 18.548~18.792,平均值为 18.691; ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值为 15.683~15.856,平均值为 15.755; ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值为 39.049~39.685,平均值为 39.331;铅同位素特征值*μ*的变 化范围为 9.61~9.93,平均值为 9.74,所有样品*μ*值均高于 9.58,显示铅源具有上地壳源区物质的特征。通过区域成矿作用 对比研究,那茶淌矿床 S、Pb 同位素组成与念青唐古拉带东段典型砂卡岩型铅锌矿床具有相似的特征,成矿物质主要来源 于念青唐古拉群结晶基底物质的重熔。

关 键 词: S-Pb 同位素; 砂卡岩型矿床; 那茶淌铅锌矿床; 冈底斯-念青唐古拉成矿带; 西藏 中图分类号: P618.42; P618.43 文献标识码: A

Sulfur and lead isotope composition tracing for the ore-forming material source of Nachatang Pb-Zn deposit in Tibet

LENG Qiufeng^{1,2}, LI Wenchang¹, DAI Chenglong^{2*}, TANG Pan², CHEN Ming³

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China; 2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Sichuan Geology and Mineral Bureau Regional Geological Survey Team, Chengdu 610213, China)

Abstract: The Nachatang deposit, which discovered in recent years with a medium-large prospective scale, is located in the eastern segment of Gangdese-Nyainqêntanglha metallogenic belt in Tibet. The lack of detailed investigation of mineral origin and metallogenic background restricts the further study of genesis of the deposit. Based on the study of the geological characteristics of the deposit, the S and Pb isotopic characteristics of the main metal minerals in skarn ore (such as sphalerite, galena and pyrrhotite) are analyzed in this paper, and the source of ore-forming materials of the deposit is discussed. The regional metallogenic regularity is

资助项目: 国家自然科学基金重点基金(92055314)、中国地质调查局项目(DD20190444)、四川省"天府万人 计划"杰出科学家项目(川万人第023号)和云南省科学技术奖—杰出贡献奖项目(2017001)联合资助

收稿日期: 2021-10-18; 改回日期: 2022-01-19; 责任编辑: 黄春梅

作者简介: 冷秋锋(1986—),男,博士,主要从事固体矿产勘查评价与矿床学研究。E-mail: lengqiufeng9@126.com 通讯作者: 戴成龙(1993—),男,硕士,工程师,主要从事矿床学研究。E-mail: 837207170@qq.com

summarized by comparing with the regional typical lead-zinc deposits. The results show that the $\delta^{34}S(\%)$ value of metal sulfide varies from -1.6% to 4.2‰, with an average value of 1.4‰. The frequency histogram has the characteristics of normal distribution and mantle sulfur source. The ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb value of metal sulfide ranges from 18.548 to 18.792, with an average of 18.691. The ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb values range from 15.683 to 15.856, with an average of 15.755. ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb values range from 39.049 to 39.685, with an average of 39.331. The characteristic μ values of Pb isotope range from 9.61 to 9.93, with an average value of 9.74. The μ values of all samples are higher than 9.58, indicating that the lead source has the characteristics of upper crustal source. Based on the comparative study of regional mineralization, it is concluded that the S and Pb isotope characteristics of the Nachatang deposit are similar to those of the typical skarn Pb-Zn deposits in the eastern segment of Nyainqêntanglha lead-zinc metallogenic belt, and the ore-forming materials are mainly derived from the remelting of crystalline basement materials of the Nyainqêntanglha Group. **Key words:** S-Pb isotope; Skarn deposit; Nachatang Pb-Zn deposit; Gangdese-Nyainqêntanglha Metallogenic belt; Tibet

0 引言

作为世界屋脊的青藏高原,不仅是全球规模最 宏大的陆-陆碰撞造山带,同时也是特提斯巨型成 矿域的重要组成部分(Hou and Cook, 2009; 侯增谦, 2010;梁维等,2020),以其成矿规模大、形成时代 新、矿床类型多、保存条件好等诸多特征而被誉为 研究大陆成矿作用的"天然实验室"(侯增谦等, 2003; Hou et al., 2015; Yang et al., 2016)。在始于 ~65 Ma 的印度-欧亚大陆碰撞过程中,不仅导致 了青藏高原大陆地壳的缩短加厚,而且引发了新生 地壳的形成和古老地壳的重熔,同时诱发了大规模 的构造岩浆活动和不同类型的成矿作用,形成以冈 底斯和西南三江为主体的大陆巨型成矿带(侯增谦 等, 2006a; 2006b; 2006c; Hou et al., 2009; 2015; 李文 昌等, 2013; Li et al., 2016; 刘洪等, 2020; 李光明等, 2021)。其中,冈底斯成矿带南北分别以雅鲁藏布 江和班公湖-怒江缝合带为界(Allégre et al., 1984; Parce et al., 1988), 受控于古特提斯洋和新特提斯 洋发展演化,该成矿带经历了复杂的地质--构造--岩 浆演化过程(莫宣学等,2005;潘桂棠等,2006;朱弟 成等,2008),形成了巨量的金属和非金属矿产资源, 从而使其成为中国乃至世界著名的铜铅锌钨钼金 银多金属成矿带。

随着青藏专项项目及青藏高原地质大调查项 目的不断深入,配合公益性勘查、商业性勘查项目 的全面实施,冈底斯成矿带上已经陆续发现一系列 大型—超大型铜、钼、铅锌银、金和钨矿。其中, 铜(钼金)矿床以斑岩型为主,集中产出于冈底斯成 矿带的中南部,包括雄村铜金矿床、驱龙铜钼矿床、 甲玛铜多金属矿床、厅宫铜矿床、达布铜矿床、冲 江铜矿床等,形成了冈底斯斑岩铜矿带(唐菊兴等,

2014);铅锌多金属矿床以矽卡岩型为主,紧邻冈底 斯斑岩铜矿带,分布于其北侧念青唐古拉带上,如 亚贵拉铅锌银钼矿床、蒙亚啊铅锌银矿床、龙玛拉 铅锌铜铁矿床、勒青拉铅锌铜铁矿床、列廷冈铁铜 钼矿床、纳如松多铅锌银矿床、斯弄多铅锌银矿床、 查个勒铅锌矿床和那茶淌铅锌矿床等(图1),构成 了冈底斯中北部的念青唐古拉铅锌多金属成矿亚 带(Wang et al., 2015, 2016),该带累计查明铅锌金 属资源量超过1000万吨,受到学术界和矿业界的 广泛关注(侯增谦等, 2006a, b, c; 唐菊兴等, 2014; Wang et al., 2015, 2016; Zheng et al., 2015; 唐菊兴 等,2020)。那茶淌矿床位于西藏墨竹工卡县,是念 青唐古拉铅锌矿带新近勘查评价的具中—大型远 景规模的砂卡岩型铅锌矿床,目前对该矿床成矿物 质来源及其成矿背景还缺乏详细的调查,制约了矿 床成因的研究以及下一步找矿勘查。基于此,本文 通过对那茶淌矿床的金属硫化物矿石 S-Pb 同位素 组成研究,探讨矿床的成矿物质来源,以期为矿床 成因的研究以及念青唐古拉成矿带区域成矿规律 的总结提供有益启示。

1 矿床地质概况

拉萨地块作为青藏高原的重要组成部分,它是 夹持于班公湖-怒江缝合带(BNS)以南和雅鲁藏布 缝合带(IYZS)以北的巨型构造-岩浆岩带,东西向 长约 2500 km,南北向宽 150~300 km,以洛巴堆-米拉山断裂带(LMF)和狮泉河-纳木错蛇绿混杂岩 带(SNMZ)为界,可以将拉萨地块划分为南拉萨地 块、中拉萨地块和北拉萨地块三个部分(Zhu et al., 2011),那茶淌铅锌矿床大地构造位置处于中拉萨 地块东段。矿区出露地层相对简单,主要为上石炭 统一下二叠统来姑组(C₂P₁*l*)及少量第四系(Q) (图 2)。来姑组地层整体呈北东—南西向展布,倾向南东,倾角 50°~80°。岩性主要为:板岩、变质

石英砂岩、灰岩、大理岩,局部发育角岩化。矿区 发育晚侏罗世—早白垩世花岗岩,岩性为黑云母二



1. 下侏罗统叶巴组岛弧火山沉积; 2. 中—晚侏罗世接奴群岛弧火山沉积; 3. 中—上侏罗统拉贡塘组岛弧火山沉积; 4. 上侏罗统—下白垩统则弄群岛弧火山沉积; 5. 上侏罗统—下白垩统桑日群岛弧火山沉积; 6. 早白垩世岛弧火山沉积; 7. 晚三叠世花岗岩; 8. 早侏罗世花岗岩; 9. 中侏罗世花岗岩; 10. 晚侏罗世花岗岩; 11. 早白垩世花岗岩; 12. 晚白垩世 花岗岩; 13. 缝合带; 14. 矿床; 15. 矿集区。BNS—班公湖-怒江缝合带; LMF—洛巴堆-米拉山断裂; ZCF—扎日南木 错-措麦断裂带; YNJF—永珠-纳木错-嘉黎断裂带; NLT—北拉萨地块; CLT—中拉萨地块; SLT—南拉萨地块。

图 1 念青唐古拉成矿带区域地质简图及主要矿床分布(据 Zhu et al., 2011;段志明等, 2014 修改)

Fig. 1 Regional geological sketch of Nyainqêntanglha metallogenic belt and distribution of main deposits(modified from Zhu et al., 2011; Duan et al., 2014)



1.来姑组第三岩性段第一亚层砂岩、板岩; 2.来姑组第三岩性段第二亚层灰岩、大理岩; 3.砂卡岩; 4.黑云母二长花岗岩; 5.钻孔及编号。

图 2 那茶淌铅锌矿区地质图 Fig. 2 Geological map of the Nachatang area 长花岗岩和花岗闪长岩,主要出露在矿区南部,以 岩枝或岩株形式近东西向展布(图 2)。矿区内构 造活动强烈,发育断裂和褶皱构造。

那茶淌铅锌矿体主要呈层状、似层状、透镜状 产于来姑组灰岩夹层蚀变形成的砂卡岩中,受层位 控制明显。主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿、磁黄 铁矿,也发育少量的黄铜矿、黄铁矿(图 3),矿石构 造主要为细脉或网脉状、团块状、浸染状,矿石结 构主要为自形粒状、半自形粒状、交代残余、乳滴 状和固溶体分离结构(图 4)。非金属矿物主要为 一套钙质砂卡岩矿物(如钙铝榴石、钙铁榴石、透 辉石、钙铁辉石、硅灰石)、石英和方解石等。主 要蚀变为砂卡岩化、硅化、绿帘石化、绿泥石化、 大理岩化和角岩化。

根据对那茶淌矿床野外地质的观察、详细的 钻孔岩心编录和显微镜下矿物共生组合的研究,结



A. ZK006-245 m, 方铅矿+闪锌矿+磁黄铁矿+黄铁矿块状 矿石; B. ZK006-245.5 m, 磁黄铁矿+方铅矿+闪锌矿团块 状矿石; C. ZK406-164.5 m, 硅灰石砂卡岩中脉状方铅矿 和闪锌矿矿石; D. PD8-3, 闪锌矿+方铅矿+磁黄铁矿条 带状矿石; E. PD8-3, 方铅矿+闪锌矿+黄铜矿+黄铁矿块 状矿石。Gn—方铅矿, Sph—闪锌矿, Py—黄铁矿, Po—磁黄铁矿, Ccp—黄铜矿, Bn—斑铜矿, Grt—石榴 子石, Wo—硅灰石。

图 3 那茶淌铅锌矿床主要金属矿物手标本特征 Fig. 3 Main metallic mineral characteristics of Nachatang Pb-Zn deposit

合矿床岩浆作用及表生作用特征,将矿床成矿作用 过程划分为3个成矿期次:岩浆期、岩浆期后热液 期和表生期。其中,岩浆期后热液期为主要的成矿 期,可进一步划分为进化交代阶段、退化蚀变阶段、 石英-铅锌硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段。石英-铅锌硫化物阶段为铅锌矿主要成矿阶段,该阶段形 成砂卡岩矿体中大量的方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿 及少量黄铜矿、黄铁矿等,矿石多呈块状、团块状、 脉状或稠密浸染状产出。本文用于 S-Pb 同位素测 试的研究样品主要采集于该阶段的金属硫化物。

2 样品采集及测试方法

本次用于 S、Pb 同位素分析测试的样品采自 钻孔和坑道内的原生金属硫化物矿石,主要包括矽 卡岩型块状、团块状、脉状、稠密浸染状矿石中的 闪锌矿(5件)、方铅矿(3件)和磁黄铁矿(5件)等, 矿石特征如图 3、图 4 所示。新鲜样品经破碎清洗 和干燥后,在双目镜下挑出纯度达到 99% 的单矿 物分析样,研磨至 74 µm(200 目)以下,送实验室进 行分析。S、Pb 同位素样品测试在核工业北京地质 研究院分析测试研究中心完成。S同位素测试是 将金属硫化物单矿物与氧化亚铜按一定比例研磨、 混合均匀后进行氧化反应,生成 SO,并用冷冻法收 集,然后用 MAT251 气体同位素质谱仪分析硫同 位素组成,测量结果以 V-CDT 为标准,分析精度优 于±0.2‰; Pb 同位素样品先用混合酸分解, 然后用 树脂交换法分离出铅,蒸干后用热表面典例质谱法 进行 Pb 同位素测量, 仪器型号为 ISOPROBE-T, 208 Pb/ ²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 比值误差小于 0.05‰。

3 分析结果

3.1 S 同位素

那茶淌铅锌矿床金属硫化物的 $\delta^{34}S(\infty)$ 值变 化于-1.6‰~4.2‰之间,极差为5.8‰,平均值为 1.4‰(表 1)。其中,5件闪锌矿样品 $\delta^{34}S$ 值为 -0.1‰~3.1‰,平均值为0.8‰;5件磁黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值为0.9‰~4.2‰,平均值为2.1‰;3件方铅 矿 $\delta^{34}S$ 值为-1.6‰~3.2‰,平均值为1.2‰。同时, 本文收集了念青唐古拉成矿带其它典型砂卡岩型 铅锌矿床S同位素组成(表 1),其中,轮郎矿床硫 化物矿石的 $\delta^{34}S$ 值为-2.3‰~4.1‰,新嘎果矿床 硫化物矿石的 $\delta^{34}S$ 值为-5.0‰~4.5‰,勒青拉矿 床硫化物矿石的 $\delta^{34}S$ 值为-11.6‰~-0.3‰,列廷



A. PD8-1,方铅矿的揉皱现象(+); B. PD006-245 m,黄铁矿沿闪锌矿边缘交代(+); C. ZK406-164.5 m,黄铁矿被 闪锌矿交代呈残余结构(+); D. PD8-2,方铅矿交代黄铁矿(+); E. PD6-1,半自形晶黄铁矿(+); F. 磁黄铁矿和 黄铜矿共边结构(+); G. PD8-3,黄铜矿和闪锌矿呈固溶体分离结构(+); H. PD6-4,黄铁矿交代闪锌矿(+); I. PD5-2,磁黄铁矿和闪锌矿共边结构(+)。Gn—方铅矿, Sph—闪锌矿, Py—黄铁矿, Po—磁黄铁矿, Ccp—黄铜矿。

图 4 那茶淌铅锌矿床主要金属矿物显微镜下特征

Fig. 4 Microscopical characteristics of main metallic minerals in Nachatang Pb-Zn deposit

冈矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为-6.9‰~-2.1‰, 拉屋矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为-5.5‰~10.1‰, 龙马拉矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为1.6‰~3.6‰, 蒙亚啊矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为-1.3‰~6.4‰, 洞中拉矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为2.2‰~5.8‰, 亚贵拉矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为0.7‰~6.7‰, 纳如松多矿床硫化物矿石的 δ^{34} S值为0.6‰~10.1‰。

3.2 Pb 同位素

那茶淌铅锌矿床 13 件金属硫化物 Pb 同位素 比值较稳定(表 2),²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值为 39.049~39.685, 极 差为 0.636, 平均值为 39.331;²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值为 15.683~15.856, 极 差为 0.173, 平均值为 15.755; ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值为 18.548~18.792, 极差为 0.244, 平均 值为 18.691。其中, 5 件闪锌矿样品的²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值 为 39.203~39.543, 平均值为 39.351;²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值 为 15.714~15.816, 平均值为 15.757;²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值 为 18.661~18.751, 平均值为 18.708; 5 件磁黄铁矿 样品²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb值为39.049~39.417,平均值为 39.215;²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb值为15.683~15.776,平均值为 15.725;²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb值为18.548~18.729,平均值为 18.644;3件方铅矿样品²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb值为39.396~ 39.685,平均值为39.493;;²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb值为15.772~ 15.856,平均值为15.800;²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb值为18.712~ 18.792,平均值为18.740。同时,本文收集了念青 唐古拉带其它典型铅锌矿床的Pb同位素组成,详 见表2。

4 讨论

4.1 硫的来源

在硫化物金属矿床中,硫元素对成矿物质富集 和沉淀成矿过程中具有重要的作用,其同位素也可 以提供矿化剂来源的重要信息(Rye and Ohmoto, 1974; Ohmoto, 1986; Hoefs, 2015)。研究表明,共生 硫化物(包括硫酸盐)的 δ^{34} S 值在硫同位素分馏达

	样品编号	矿物	³⁴ S _{VCDT} (%)	资料来源	
	SPbPD1-2	Sph	0.9		
	SPbPD4-1	Sph	-0.3		
	SPbPD3-1	Sph	0.3		
	SPbPD8-2	Sph	3.1		
	SPbPD2-1	Sph 0.2			
	SPbPD2-1	Ро	1.7		
那茶淌	SPbPD3-1	Ро	2	本文	
	SPbPD8-3	Ро	1.5		
	SPbPD8-1	Ро	4.2		
	SPbPD1-1	Ро	0.9		
	SPbPD1-1	Gn	-1.6		
	SPbPD4-3	Gn	1.9		
	SPbPD8-4	Gn	3.2		
轮郎		Py, Po, Gn, Sph	$-2.3 \sim 4.1$	唐攀等, 2016	
新嘎果		Mrc、Sph、Gn、Ccp	$-5 \sim 4.5$	Wang et al., 2016; Tang et al., 2019; 杨毅, 2015	
勒青拉		Gn、Sph、Mol、Cep、 Po、	$-11.6 \sim -0.3$	Wang et al., 2016; 费凡, 2014	
列廷冈		Ccp、Gn、Py、Mrc、 Sph	$-6.9 \sim -2.1$	杨毅, 2015	
拉屋		Sph、Po、Gn、Ccp	$-5.5 \sim 10.1$	杜欣等,2004;崔玉斌等, 2010;连永牢等,2010;魏 博,2010;程文斌,2010	
龙玛拉		Ccp、Sph、Gn	1.6~3.6	付强等, 2012; 付强, 2014	
蒙亚啊		Sph, Ccp, Po, Gn,	$-1.3 \sim 6.4$	程顺波, 2008; 王立强等, 2010; 张遵遵, 2011	
洞中拉		Po、Ccp、Gn、Sph	2.2~5.8	费光春等,2011;高一鸣, 2010	
亚贵拉		Po、Sph、Py、Gn	0.7~6.7	罗雪, 2010; 连永牢等, 2009	
纳如松多		Py、Ccp、Sph、Gn	0.6~10.1	纪现华, 2013	

表 1 念青唐古拉带主要铅锌矿床硫同位素组成 Table 1 Sulfur isotope composition of main Pb-Zn deposits in Nyaingêntanglha metallogenic belt

注: Gn—方铅矿, Sph—闪锌矿, Py—黄铁矿, Po—磁黄铁矿, Ccp—黄铜矿, Mol—辉钼矿, Mrc—白铁矿

到平衡的条件下, δ^{34} S 硫酸盐> δ^{34} S 辉钼矿> δ^{34} S 黄铁矿> δ^{34} S 磁黄铁矿> δ^{34} S 闪锌矿> δ^{34} S 黄铜矿 > δ^{34} S 方铅矿(郑永飞等,2000)。那茶淌矿床金属 硫化物硫同位素组成 δ^{34} S 磁黄铁矿> δ^{34} S 方铅矿 > δ^{34} S 闪锌矿(表 1、图 5),与平衡顺序不尽一致, 表明它们之间或者处于同位素不平衡状态,或者是 不同阶段的产物,或者是不同温度下形成的(郑永 飞等,2000)。如果氧逸度较低体系中硫酸盐不存 在,并且矿物组合为黄铁矿+方铅矿+闪锌矿时,硫 化物的 δ^{34} S 值可大致代表热液的总硫同位素组成 (Ohmoto, 1986)。该矿床中矿物组合主要为磁黄铁 矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等,并未发现硫酸盐 矿物,这也反映出成矿热液中不同价态硫之间以及 不同成矿阶段的硫同位素分离都比较弱(姜军胜等, 2015)。因此,那茶淌矿床热液体系中总硫同位素 组成与金属硫化物的硫同位素组成大体一致。

那茶淌矿床矿石的 δ^{34} S值变化较窄,峰值集中于 0~2‰之间,具有明显的正太分布特征(图 5、图 6)。那茶淌矿床中未发现石膏等硫酸盐矿物, 矿石金属硫化物 δ^{34} S平均值为 1.40‰,同我国与岩

表 2 念青唐古拉带主要铅锌矿床 Pb 同位素比值及特征参数

Table 2 Pb isotope ratios and characteristic parameters of the main Pb-Zn deposits in The Nyainqêntanglha metallogenic

belt									
 矿床	样品编号	矿物	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	 资料来源		
那茶淌	SPbPD1-2	Sph	18.751	15.816	39.543	9.85			
	SPbPD4-1	Sph	18.661	15.720	39.226	9.67			
	SPbPD3-1	Sph	18.726	15.736	39.288	9.70			
	SPbPD8-2	Sph	18.734	15.798	39.493	9.82			
	SPbPD2-1	Sph	18.669	15.714	39.203	9.66			
	SPbPD2-1	Ро	18.572	15.683	39.049	9.61			
	SPbPD3-1	Ро	18.548	15.692	39.051	9.63	本文		
	SPbPD8-3	Ро	18.697	15.752	39.327	9.73			
	SPbPD8-1	Ро	18.674	15.724	39.23	9.68			
	SPbPD1-1	Ро	18.729	15.776	39.417	9.78			
	SPbPD1-1	Gn	18.792	15.856	39.685	9.93			
	SPbPD4-3	Gn	18.712	15.773	39.396	9.77			
	SPbPD8-4	Gn	18.716	15.772	39.398	9.77			
轮郎		Py, Po, Gn, Sph	$18.179 \sim 18.692$	15.592~15.802	$38.532 \sim 38.995$	$9.44 \! \sim \! 9.83$	唐攀等,2016		
新嘎果		Mrc, Sph, Gn, Ccp	$18.505 \sim 18.644$	15.561~15.671	$38.504 \sim 38.951$	$9.38 \sim 9.58$	杨毅, 2015		
勒青拉		Gn、Sph、Mol、Ccp、 Po、	18.225~18.610	15.545~15.649	38.305~38.797	9.38~9.54	张林奎等,2008; 费凡,2014		
列廷冈		Ccp, Gn, Py, Mrc, Sph	18.256~18.711	15.579~15.778	38.495~38.215	9.40~9.82	杨毅, 2015		
拉屋		Sph、Po、Gn、Ccp	18.465~19.535	15.520~15.798	38.673~39.997	9.30~9.75	杜欣等,2004; 崔玉斌等,2010; 连永牢等,2010; 魏博,2010; 程文斌,2010;		
龙玛拉		Ccp、Sph、Gn	18.649~18.657	15.711~15.717	39.160~39.176	9.66~9.67	付强等,2012; 付强,2014		
蒙亚啊		Sph, Ccp, Po, Gn,	18.618~18.688	15.641~15.732	38.976~39.255	9.52~9.69	程顺波,2008; 王立强等,2010		
洞中拉		Po, Ccp, Gn, Sph	18.615~18.764	15.690~15.802	39.049~39.430	9.62~9.83	费光春等,2011; 高一鸣,2010		
亚贵拉		Po, Sph, Py, Gn,	18.528~19.773	15.673~15.738	39.006~39.362	9.59~9.71	罗雪,2010; 连永牢等,2009; 高一鸣,2010		
注: Gn	一方铅矿.	Snh—闪锌矿, Pv—黄	決矿、Po		- 黄铜矿, Mol	辉钼矿.	Mrc—白铁矿。		

浆活动有关的铅锌矿床(-5.0‰~5.0‰)相似(陈 好寿等,1994),并且与地幔部分熔融的岩浆硫的 δ^{34} S值(0 ± 3 ‰)相似(Ohmoto,1986),反映该矿床的 硫源与岩浆作用密切相关。

4.2 铅的来源

铅同位素性质不活泼,受外界环境影响很小,即在矿质运移和沉淀过程中几乎不发生分馏作用, 矿物形成时环境中 U-Th-Pb 特征决定其组成特征, 铅同位素组成广泛应用于各种矿床的研究中,是示 踪成矿物质来源最直接、最有效的方法之一(李龙 等,2001)。那茶淌矿床铅同位素比值变化范围很小,且比值较均一,显示出铅是较稳定普通铅的特征。此外,Pb同位素源区特征值µ可用来反映铅的来源和提供地质体演化的重要地质信息,其中µ值>9.58的铅通常用来反映相对富集U、Th元素的上部地壳信息(Zartman and Doe, 1981;吴开兴等,2002)。那茶淌铅锌矿床铅同位素特征值µ的变化范围为9.61~9.93,平均值为9.74,所有样品µ值均高于9.58,显示铅源具有上地壳源区物质的特征。

研究表明,铅同位素 Δγ-Δβ 成因分类图能消



图 5 那茶淌矿床金属硫化物 $\delta^{34}S$ 频率直方图 Fig. 5 Histogram of $\delta^{34}S$ frequency of metal sulfide in Nachatang Pb-Zn deposit





除矿石形成时间的影响,可以利用此图对成矿物质 来源进行示踪(朱炳泉,1998)。那茶淌铅锌矿床金 属硫化物铅同位素投于 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 图上(图 7),所有样 品均落于上地壳铅区域,显示出具有富集上地壳铅 的特征。为了能够更加准确的确定矿床金属硫化 物 Pb 的源区,将矿区 13 件矿石 Pb 同位素组成数 据投影到²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(a)和²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(b)构造环境演化图(图 8),数据均落于上地壳 区域,表明矿床铅主要来源于上地壳物质,与特征 值 μ 和铅同位素 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图反映出的结果一 致。念青唐古拉地区发育广泛的前寒武纪片麻岩 结晶基底(胡道功等,2005;朱弟成等,2008)。程文 斌等(2010)通过对冈底斯-念青唐古拉成矿带主要



1—地幔源铅; 2—上地壳铅; 3—上地壳与地幔混合的俯 冲带铅(a. 岩浆作用,b. 沉积作用); 4—化学沉积型铅; 5—海底热水作用铅; 6—中深变质作用铅; 7—深变质下 地壳铅; 8—造山带铅; 9—古老页岩上地壳铅; 10—退 变质铅。

图 7 那茶淌与念青唐古拉带主要铅锌矿床铅同位素 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图(底图据朱炳泉, 1998)

Fig. 7 Genetic classification of Pb isotope $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ of the main Pb-Zn deposits in Nachatang Pb-Zn deposit and other deposits in Nyainqêntanglha metallogenic belt (according to Zhu, 1998)

矿床 Pb 同位素的系统研究,认为由南到北成矿物 质来源存在着差异,最南端的冈底斯成矿带南亚 带 Cu-Au 矿床 Pb 同位素组成具有幔源特征,反映 成矿物质来自于俯冲过程中的交代地幔楔,最北端 的冈底斯成矿带北亚带(即念青唐古拉成矿亚带) Pb-Zn 矿床 Pb 同位素组成与念青唐古拉群基底片 麻岩相近,反映成矿物质来自于基底片麻岩(图 7)。 本文研究的那茶淌矿床与念青唐古拉成矿亚带主 要 Pb-Zn 矿床相似,其成矿物质主要来源于念青唐 古拉群结晶基底物质的重熔。

4.3 区域主要铅锌矿床成矿物质来源

念青唐古拉成矿带内岩浆活动强烈,并引发了 大规模的成矿作用,按照主要矿床产出的空间位置、 成矿地质特征的相似性和关联性,将念青唐古拉成 矿带由东向西划分出5个矿集区:亚贵拉-沙让Pb-Zn-Mo-(Ag)矿集区、蒙亚啊--那茶淌Pb-Zn-(Mo-W) 矿集区、勒青拉--新嘎果--程巴Pb-Zn-Fe-Cu矿集区、 纳如松多--斯弄多Pb-Zn-(Ag)矿集区和查个勒--龙 根Pb-Zn-(Ag-Cu)矿集区等(图1)。整体而言,该 带内矿床成岩与成矿年龄集中于65~50Ma,成矿 事件主要发生于古新世---始新世,系印--亚大陆主



阴影区域据程文斌等, 2010; 念青唐古拉群结晶基底区域据 Gariépy et al, 1985; 印度洋 MORB 据 Sun, 1980。

图 8 那茶淌矿床²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(a)和²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(b)构造环境演化图(Zartman and Doe,1981) Fig. 8 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(a) and ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb(b) tectonic environment evolution maps of the Nachatang deposit (Zartman and Doe, 1981)

碰撞陆陆汇聚阶段大规模成矿作用的产物。已有 研究表明,不同矿集区矿化元素组合与成岩成矿物 质来源之间存在一定的耦合关系(程文斌等,2010; Zheng et al., 2015; 唐菊兴等, 2020)。

念青唐古拉成矿带主要矿集区 Pb 同位素研究 结果(唐菊兴等, 2020)显示, 亚贵拉-沙让矿集区和 蒙亚啊--那茶淌矿集区矿床成矿金属物质主要源自 拉萨地块结晶基底的重熔,即主要来自上地壳物质; 勒青拉-新嘎果矿集区铅同位素组成兼具壳幔组分 混合的特征,幔源物质参与成矿的量较亚贵拉-沙 让和蒙亚啊--那茶淌矿集区明显增多;纳如松多--斯 弄多矿集区和查个勒矿区中除纳如松多矿床尚存 在幔源组分参与成矿的可能,其余矿床成矿金属物 质均源自于拉萨地体结晶基底重熔形成的壳源物 质。在成矿元素组合上,亚贵拉-沙让矿集区成矿 元素以 Pb、Zn、Mo 和 Ag 为主;其西侧蒙亚啊-那 茶淌矿集区成矿元素以 Pb、Zn、Ag、Mo 和 W 为 主,伴随有少量 Cu、Fe; 勒青拉-新嘎果矿集区成矿 元素以 Pb、Zn、Cu、Fe 为主; 纳如松多-斯弄多矿 集区和查个勒矿床成矿则以 Pb、Zn 和 Ag 为主。 上述矿集区成矿元素组合中,勒青拉-新嘎果矿集 区内多数矿床伴随铅锌矿体产出有铜矿体和磁铁 矿体,矿化元素组合亦体现出壳源和幔源元素共存 的特征。

5 结论

(1)那茶淌铅锌矿床金属硫化物的δ³⁴S(‰)值

变化于-1.6‰~4.2‰之间,平均值为1.40‰,其频 率直方图具有正太分布形式,指示其S同位素组成 具有幔源特征。

(2)那茶淌铅锌矿床金属硫化物 Pb 同位素比 值较稳定,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值为 39.049~39.685,平均值 为 39.331;²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值为 15.683~15.856,平均值 为 15.755;²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值为 18.548~18.792,平均值 为 18.691。铅同位素组成特征值 μ变化范围为 9.61~9.93,平均值为 9.74,所有样品 μ值均高于 9.58,显示铅源具有上地壳源区物质的特征。

(3)那茶淌铅锌矿床与念青唐古拉带典型矽卡 岩型铅锌矿床类似,成矿物质主要来源于念青唐古 拉群结晶基底物质的重熔。

References

- Allégre C J, Courtillot V, Tapponnier P, et al., 1984. Structure and evoltion of the Himalaya-Tibet oregenic belt[J]. Nature, 307: 17 22.
- Chen H S, Zhou S, Wei L, et al., 1994. Geochronology and isotope geochemistry of mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Cheng S B, Pang Y C, Cao L. 2008. Genesis of the Mengya 'a Skarn Pb–Zn deposit in Tibet [J]. South China Geology and Mineral Resources, (3): 50–56 (in Chinese with English abstract).
- Cheng W B, Gu X X, Tang J X, et al., 2010. Lead isotope characteristics of ore sulfides from typical deposits in the Gangdese–Nyainqentanglha metallogenic belt, Tibet: implications for the zonation of ore–forming elements [J]. Acta Petrologica Sinica, 26(11): 3350–3362 (in Chinese with English abstract).
- Cui Y B, Zhao Y Y, Lu L N, 2010. Isotope characteristics and

significance of C, H, O and S in the Lawu Skarn Copper–Lead–Zinc polymetallic deposit in Tibet [J]. Mineral Deposits, 29 (S1): 423–424 (in Chinese).

- Du X, Liu J T, Wang Y P, 2004. Geological characteristics and ore genesis of the Lawu Copper–Lead–Zinc polymetallic ore deposit in Tibet [J]. Mineral Resources and Geology, 18: 410–449 (in Chinese with English abstract).
- Duan Z M, Li G M, Li Y X, et al., 2014. Geochronology and geochemical characteristics of ore-bearing porphyry in Longgen Lead-Zinc deposit of Middle Gangdese metallogenic belt, Tibet [J]. Mineral Deposits, 33(3): 625–638 (in Chinese with English abstract).
- Fei F, 2014. Comparison of metallogenic characteristics of Leqingla and Mengya'a Pb-Zn deposits in Tibet[D]. China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese).
- Fei G C, Duo J, Wen C Q, et al., 2011. S, Pb and Sr isotopic compositions for tracing sources of ore–forming materials in Dongzhongla Lead Zinc deposit in Tibet[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 31 (4) : 52–57 (in Chinese with English abstract).
- Fu Q, Zheng Y C, Huang K X, 2012. Sulfur and lead isotopic compositions of Longmala polymetallic deposit in Tibet and its geological significance [J]. Nonferrous Metals (Mining), 64(4): 26–30 (in Chinese with English abstract).
- Fu Q, Yang Z S, Zheng Y C, et al., 2014. Gold-mica AR-AR dating and its geodynamic significance of the Longmala Cu-Fe-Pb-Zn polymetallic deposit in Tibet [J]. Journal of Petrology and Mineralogy, 33(2): 283-293 (in Chinese with English abstract).
- Gao Y M, 2010. Geological characteristics and regional metallogenic study of Yaguila–Sharang polymetallic deposit in Gongbujiangda County, Tibet [D]. Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Gariépy C, Allègre C J, Xu R H, 1985. The Pb-isotope geochemistry of granitoids from the Himalaya-Tibet collision zone: implications for crustal evolution[J]. Earth and Planetary Science Letters, 74(2): 220–234.
- Hoefs J, 2015. Stable Isotope Geochemistry. Seventh Edition[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 1–389.
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, et al., 2003. Re–Os age of molybdenite in the Gangdese porphyry copper belt, Tibetan Plateau: Time limit of mineralization and application of dynamic background [J]. Science in China (Series D), 33 (7): 609–618 (in Chinese).
- Hou Z Q, Yang Z S, Xu W Y, et al., 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt : [. Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. Mineral Deposits, 25 (4) : 117–122 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, et al., 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II . Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. Mineral Deposits, 25(5): 521–543 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Yang Z S, et al., 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III . Mineralization in post-collisional extension setting [J]. Mineral Deposits, 25(6): 629–651 (in

Chinese with English abstract).

- Hou Z Q, 2010. Metallogensis of continental collision [J]. Acta Geologica Sinica, 84: 30–58 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Cook N J, 2009a. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue[J]. Ore Geology Reviews, 36: 2 - 24.
- Hou Z Q, Yang Z M, Qu X M, et al., 2009b. The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post–collisional extension in the Tibetan Orogen [J]. Ore Geology Reviews, 36: 25–51.
- Hou Z Q, Duan L F, Lu Y J, et al., 2015. Lithospheric architecture of the Lhasa terrane and its control on ore deposits in the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Economic Geology, 110: 1541 – 1575.
- Hu D G, Wu Z H, Jiang W, et al., 2005. SHRIMP Zircon U–Pb ages and Nd isotopes of the Nyainqêntanglha Group in Tibet [J]. Science China Earth Sciences, 35 (1): 29–37 (in Chinese).
- Ji X H, 2013. Geological and geochemical characteristics and genesis of Narusongduo Lead–Zinc deposit in Tibet[D]. China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese).
- Jiang J S, Zheng Y Y, Gao S B, et al., 2015. Genesis of the Chazangcuo Cu–Pb–Zn deposit, Tibet: Constraints from C–H–O–S–Pb isotope geochemistry[J]. Earth Sciences–Journal of China University of Geosciences, 40 (6) : 1006–1016 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Zhang L K, Zhang Z, et al., 2021. New exploration progresses, resource potentials and prospecting targets of strategic minerals in the southern Qinghai–Tibet Plateau [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 41(2): 351–360 (in Chinese with English abstract).
- Li L, Zheng Y F, Zhou J B, 2001. Dynamic model for Pb isotope evolution in the continental crust of China [J]. Acta Petrologica Sinica, 17(1): 61–68 (in Chinese with English abstract).
- Li W C, Yu H J, Yin G H, 2013. Porphyry metallogenic system of Geza arc in the Sanjiang region, southwestern [J]. Acta Petrologica Sinica, 29 (4) : 1129–1144 (in Chinese with English abstract).
- Li W C, Wang J H, He Z H, et al., 2016. Formation of Au-polymetallic ore deposits in alkaline porphyries at Beiya, Yunnan, Southwest China [J]. Ore Geology Reviews, 73: 241-252.
- Lian Y L, Cao X Z, Yan C H, et al., 2009. Geological Characteristics and Genesis of Yaguila Lead-Zinc Deposit inthe Gongbujiangda County of Tibet Province[J]. Geology and Exploration, 45 (5): 570 - 576 (in Chinese with English abstract).
- Lian Y L, Cao X Z, Yan C H, et al., 2010. Exhalative sedimentary genesis of Lawu Copper–Lead–Zinc deposit in Dangxiong County of Tibet [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 40 (5): 1042–1065 (in Chinese with English abstract).
- Liang W, Li G M, Zhang L K, et al., 2020. Cuonadong Be-rare polymetallic metal deposit: Constraints from Ar-Ar age of hydrothermal Muscovite [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 40 (1) : 76-81 (in Chinese with English abstract).
- Liu H, Huang H X, Zhang L K, et al., 2020. Luerma, a newly discovered Late Triassic porphyry copper–gold deposit ore–spot in the western Gangdese metallogenic belt, Tibet [J]. Sedimentary Geology

and Tethyan Geology, 41(4): 599–611 (in Chinese with English abstract) .

- Luo X, 2010. Geological and geochemical characteristics and genesis of Yaguila Pb–Zn polymetallic deposit in Gongbujiangda County, Tibet[D]. China University of Geosciences (Wuhan) (in Chinese).
- Mo X X, Dong G C, Zhao Z D, et al., 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granites in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution [J]. Geological Journal of China Universities, 11(3): 281–290 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto H, 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 16(1): 491–559.
- Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, et al., 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese orogenic belt and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (3) : 521–533 (in Chinese with English abstract).
- Parce J A, Mei H, 1988. Volcanic rocks for the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud. Phil. Trans[J]. Roy. Soc. Load. A, 327: 203–213.
- Rye R O, Ohmoto H, 1974. Sulfur and carbon isotope and ore genesis: A review[J]. Economic Geology, 69(6): 827–842.
- Sun S S, 1980. Lead Isotopic Study of Young Volcanic Rocks from Mid–Ocean Ridges, Ocean Islands and Island Arcs[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 297 (1431) : 409–445.
- Tang J X, Wang L Q, Zheng W B, et al., 2014. Ore deposits metallogenic regularity and prospecting in the eastern section of the Gangdese metallogenic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 88(12): 2545–2555 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Wang L Q, Zhong K H, et al., 2020. Metallogenesis and metallogenic regularity of Lead–Zinc deposits in the eastern Section of the Nyainqêntanglha metallogenic belt, Tibet [M]. Geological Publishing House, 1–239 (in Chinese).
- Tang P, Tang J X, Leng Q F, et al., 2016. S, Pb isotopic composition and source tracing of ore-forming materials in the Lunlang Lead-Zinc deposit, Tibet [J]. Journal of Petrology and Mineralogy, 35 (6) : 1045-1054 (in Chinese with English abstract).
- Tang P, Tang J X, Wang Y, et al., 2020. Zircon U–Pb geochronology, geochemistry, S–Pb–Hf isotope compositions, and mineral chemistry of the Xingaguo skarn Pb–Zn deposit, Tibet, China[J]. Geological Journal, 55(6): 4790-4809.
- Wang L Q, Gu X X, Cheng W B, et al., 2010. Sulfur and Lead isotopic composition and tracing for the source of ore-forming materials in the Mengya'a Pb-Zn deposit, Tibet [J]. Geoscience, 24(1): 52-58 (in Chinese with English abstract).
- Wang L Q, Tang J X, Deng J, et al., 2015. The Longmala and Mengya 'a skarn Pb –Zn deposits, Gangdese region, Tibet: evidence from U–Pb and Re–Os geochronology for formation during early India –Asia collision[J]. International Geology Review, 14: 1825 – 1842.
- Wang L Q, Cheng W B, Tang J X, et al., 2016. U-Pb geochronology, geochemistry, and H-O-S-Pb isotopic compositions of the Leqingla and Xin 'gaguo skarn Pb-Zn polymetallic deposits,

Tibet, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 115: 80-96.

- Wei B, 2010. Geological and geochemical characteristics and genesis of Mengya'a Lead–Zinc deposit in Tibet[D]. China University of Geosciences (Wuhan) (in Chinese).
- Wu K X, Hu R Z, Bi X W, et al., 2002. Ore lead isotope as a tracer for ore-forming materials sources: A review [J]. Geology-geochemistry, 30(3): 73-81 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y, 2015. Geological characteristics of Lietinggang Iron polymetallic deposit and metallogenic regularity of the Northern Gangdese, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese).
- Yang Z M, Goldfarb R J, Chang Z S, et al., 2016. Generation of postcollisional porphyry copper deposits in southern Tibet triggered by subduction of the Indian continental plate[J]. Society of Economic Geologist, Special Publication 19, 279–300.
- Zartman R, Doe B, 1981. Plumbotectonicx: the model[J]. Tectonophysics, 75(1-2): 135-162.
- Zhang L K, Fan W Y, Gao D F, 2008. Geology and genesis of Leqingla Pb–Zn polymetallic deposit in the Linzhou County, Tibet [J]. Geology and prospecting, 44(5): 10–16 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Z, 2011. Geology, geochemistry and origin of ore-forming substances of Mengya'a Skarn Lead–Zinc deposit, Tibet, China [D]. Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y F, 2000. Geochemical studies of stable isotopes in minerals [J]. Earth Science Frontiers, (2): 299–320 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Y Y, Sun X, Gao S, et al., 2015. Metallogenesis and the minerogenetic series in the Gangdese polymetallic copper belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 103, 23–39.
- Zhu B Q. 1998. Theory and application of isotope system in earth science: Also on crust and mantle evolution in China [M]. Science Press (in Chinese).
- Zhu D C, Pan G T, Wang L Q, et al., 2008. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues [J]. Geological Bulletin of China, 27 (9) : 1535–1550 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al., 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. Earth and Planetary Science Letters, 301: 241–255.

附中文参考文献

- 陈好寿,周肃,魏琳,等,1994.成矿作用年代学及同位素地球化 学[M].北京:地质出版社.
- 程顺波, 庞迎春, 曹亮, 2008. 西藏蒙亚啊矽卡岩铅锌矿床的成因探讨[J]. 华南地质与矿产, (3): 50-56.
- 程文斌,顾雪祥,唐菊兴,等,2010.西藏冈底斯-念青唐古拉成矿 带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征-对成矿元素组合分带性的指 示[J].岩石学报,26(11):3350-3362.
- 崔玉斌,赵元艺,吕立娜, 2010.西藏拉屋矽卡岩型铜铅锌多金属

矿床碳、氢、氧、硫同位素特征及意义[J].矿床地质, 29(S1):423-424.

- 杜欣,刘俊涛,王亚平,2004.西藏拉屋铜铅锌多金属矿床地质特 征及成因分析[J].矿产与地质,18:410-449.
- 段志明,李光明,李应栩,等,2014.中冈底斯成矿带龙根铅锌矿 床含矿斑岩年代学与地球化学特征[J].矿床地质,33(3): 625-638.
- 费凡,2014. 西藏勒青拉与蒙亚啊 Pb-Zn 矿床成矿特征对比[D]. 中国地质大学(北京).
- 费光春,多吉,温春齐,等,2011.西藏洞中拉铅锌矿床 S, Pb, Sr 同位素组成对成矿物质来源的示踪[J].矿物岩石,31(4):52-57.
- 付强,郑远川,黄克贤,2012.西藏龙马拉多金属矿床硫、铅同位素组成及其地质意义[J].有色金属(矿山部分),64(4): 26-30.
- 付强,杨竹森,郑远川,等,2014. 西藏龙马拉 Cu-Fe-Pb-Zn 多金 属矿床金云母 Ar-Ar 定年及其地球动力学意义[J]. 岩石矿物学 杂志,33(2): 283-293.
- 高一鸣,2010. 西藏工布江达县亚贵拉-沙让多金属矿床地质特征及 区域成矿研究[D]. 中国地质科学院.
- 侯增谦,曲晓明,王淑贤,等,2003.西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉 钼矿 Re-Os 年龄:成矿作用时限与动力学背景应用[J].中国科 学(D辑),33(7):609-618.
- 侯增谦,杨竹森,徐文艺,等,2006a.青藏高原碰撞造山带: I.主 碰撞造山成矿作用[J].矿床地质,25(4),337-358.
- 侯增谦,潘桂棠,王安建,等,2006b.青藏高原碰撞造山带: II.晚 碰撞转换成矿作用[J].矿床地质.25(5):521-543.
- 侯增谦,曲晓明,杨竹森,等,2006c.青藏高原碰撞造山带:Ⅲ.后 碰撞伸展成矿作用[J].矿床地质.25(6):629-651.
- 侯增谦, 2010. 大陆碰撞成矿论[J]. 地质学报. 84: 30-58.
- 胡道功,吴珍汉,江万,等,2005.西藏念青唐古拉岩群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 Nd 同位素研究 [J].中国科学:地球科学, 35 (1): 29-37.
- 纪现华,2013. 西藏纳如松多铅锌矿床地质地球化学特征与成因机制研究[D]. 中国地质大学(北京).
- 姜军胜,郑有业,高顺宝,等,2015.西藏查藏错铜铅锌矿床成因: C-H-O-S-Pb同位素制约[J].地球科学-中国地质大学学报, 40(6):1006-1016.
- 李光明,张林奎,张志,等,2021. 青藏高原南部的主要战略性矿产: 勘查进展、资源潜力与找矿方向[J]. 沉积与特提斯地质,41(2): 351-360.
- 李龙,郑永飞,周建波,2001.中国大陆地壳铅同位素演化的动力学 模型[J].岩石学报,17(1):61-68.
- 李文昌,余海军,尹光候,2013.西南"三江"格咱岛弧斑岩成矿系统[J].岩石学报.29(4):1129-1144.

- 连永牢,曹新志,燕长海,等,2009.西藏工布江达县亚贵拉铅锌 矿床地质特征及成因分析[J].地质与勘探,45(5):570-576.
- 连永牢,曹新志,燕长海,等,2010.西藏当雄县拉屋铜铅锌多金 属矿床喷流沉积成因[J].吉林大学学报(地球科学版), 40(5):1042-1065.
- 梁维,李光明,张林奎,等,2020.藏南错那洞铍稀有多金属成矿 时代:来自热液白云母 Ar-Ar 年龄的约束[J]. 沉积与特提斯地 质,40(1):76-81.
- 刘洪, 黄瀚霄, 张林奎, 等, 2020. 西藏冈底斯成矿带西段鲁尔玛 晚三叠世斑岩型铜(金)矿点的发现及意义[J]. 沉积与特提斯 地质, 41(4): 599-611.
- 罗雪,2010. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌多金属矿床地质地球化学特征与成因浅析[D]. 中国地质大学(武汉).
- 莫宣学,董国臣,赵志丹,等,2005.西藏冈底斯带花岗岩的时空分 布特征及地壳生长演化信息[J].高校地质学报,11(3): 281-290.
- 潘桂棠,莫宣学,侯增谦,等,2006. 冈底斯造山带的时空结构及演 化[J]. 岩石学报,22(3):521-533.
- 唐菊兴,王立强,郑文宝,等,2014. 冈底斯成矿带东段矿床成矿规 律及找矿预测[J]. 地质学报,88(12): 2545-2555.
- 唐菊兴,王立强,钟康惠,等,2020.西藏念青唐古拉成矿带东段铅 锌矿成矿作用及成矿规律[M].地质出版社,1-239.
- 唐攀,唐菊兴,冷秋锋,等,2016.西藏轮郎铅锌矿床 S、Pb 同位 素组成及对成矿物质来源的示踪[J].岩石矿物学杂志,35(6): 1045-1054.
- 王立强,顾雪祥,程文斌,等,2010.西藏蒙亚啊铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪[J].现代地质,24(1): 52-58.
- 魏博,2010. 西藏蒙亚啊铅锌矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 中国地质大学(武汉).
- 吴开兴,胡瑞忠,毕献武,等,2002.矿石铅同位素示踪成矿物质 来源综述[J].地质地球化学,30(3):73-81.
- 杨 毅,2015. 西藏列廷冈铁多金属矿床地质特征及冈底斯北缘成矿规 律研究[D]. 成都:成都理工大学.
- 张林奎,范文玉,高大发,2008. 西藏林周县勒青拉铅锌多金属矿床 地质特征及成因[J]. 地质与勘探,44(5): 10-16.
- 张遵遵,2011. 西藏蒙亚啊矽卡岩型铅锌矿床地质地球化学特征研究 及成矿物质来源探讨[D]. 成都理工大学.
- 郑永飞,2000.矿物稳定同位素地球化学研究[J].地学前缘,(2): 299-320.
- 朱炳泉, 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用:兼论中国大陆壳 幔演化[M]. 科学出版社.
- 朱弟成,潘桂棠,王立全,等,2008.西藏冈底斯带中生代岩浆岩的 时空分布和相关问题的讨论[J].地质通报,27(9):1535-1550.