

doi:10.3799/dqkx.2015.084

# 西藏查藏错铜铅锌矿床成因： C-H-O-S-Pb 同位素制约

姜军胜<sup>1</sup>, 郑有业<sup>1,2\*</sup>, 高顺宝<sup>1</sup>, 徐 净<sup>1</sup>, 田 坎<sup>1</sup>, 黄亮亮<sup>1</sup>, 张永超<sup>1</sup>, 尹胜记<sup>3</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

3. 金策工业综合大学资源勘探系, 朝鲜平壤 999093

**摘要:** 查藏错铜铅锌矿床是近年来在冈底斯成矿带北亚带西部林子宗群火山岩中发现的一个铜多金属矿床。到目前为止, 对其矿床成因还缺乏明确的认识。C、H、O、S、Pb 同位素分析结果表明:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  值为  $-5.60\%$  ~  $-2.40\%$ ,  $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  值为  $-111.00\%$  ~  $-68.00\%$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  值为  $-8.65\%$  ~  $0.27\%$ , 显示成矿流体早期主要来自岩浆热液, 后期大气降水有所混入。  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值集中分布在  $0.50\%$  ~  $2.50\%$ , 具塔式分布特征, 表明硫的来源为相对单一的岩浆源。Pb 同位素比值较为稳定,  $\mu$  值较大 ( $>9.58$ ), 具有上地壳铅源的特征, 与冈底斯成矿带北亚带矿床矿石硫化物的铅同位素特征比较相似, 但明显不同于典中组火山岩的铅同位素特征, 推测成矿物质主要来自上地壳的岩浆源。结合矿床地质特征, 并与国内外典型岩浆热液脉型矿床对比, 认为其属岩浆热液脉型矿床。

**关键词:** 成矿流体; 成矿物质; 岩浆热液脉型; 矿床; 构造。

中图分类号: P611

文章编号: 1000-2383(2015)06-1006-11

收稿日期: 2014-09-10

## Genesis of Chazangcuo Cu-Pb-Zn Deposit, Tibet: Constraints from C-H-O-S-Pb Isotope Geochemistry

Jiang Junsheng<sup>1</sup>, Zheng Youye<sup>1,2\*</sup>, Gao Shunbao<sup>1</sup>, Xu Jing<sup>1</sup>, Tian Kan<sup>1</sup>,  
Huang Liangliang<sup>1</sup>, Zhang Yongchao<sup>1</sup>, Yun Sunggi<sup>3</sup>

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

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Faculty of Resource Exploration, Kimchaek University of Technology, Pyongyang 999093, DPR of Korea

**Abstract:** Chazangcuo Cu-Pb-Zn deposit, hosted by the Linzizong Group volcanic rocks in the west of Gangdese metallogenic belt, is a copper polymetallic deposit discovered in recent years. So far, the genesis of the deposit is still lack of clear understanding. The results of C, H, O, S, Pb isotopic analysis show that the  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  values range from  $-5.60\%$  to  $-2.40\%$ ,  $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  values range from  $-111.00\%$  to  $-68.00\%$ , and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  values range from  $-8.65\%$  to  $0.27\%$ , indicating that the ore-forming fluid mainly derived from the magma hydrothermal in the early time, however, with the mineralization continuing, the proportion of atmospheric precipitation gradually turned larger.  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  values range from  $0.50\%$  to  $2.50\%$  and possess the distribution characteristics of tower, indicating that the sulfur isotope derived from the single magma source. Lead isotope ratios are relatively stable and have large  $\mu$  values (more than 9.58), possessing the characteristics of the upper crust lead. The lead isotope characteristics are similar to the ore sulfides from the deposits in the north subzone of Gangdese metallogenic belt, but obviously different from the lead isotope characteristics of volcanic rocks of Dianzhong Formation. Therefore, the au-

**基金项目:** 教育部长江学者和创新团队发展计划(No. IRT14R560); 青藏专项项目(No. 12120114082301).

**作者简介:** 姜军胜(1991-), 男, 博士研究生, 主要从事矿产普查与勘探研究工作. E-mail: 850044300@qq.com

\* **通讯作者:** 郑有业, E-mail: zhyouye@163.com

**引用格式:** 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. 地球科学——中国地质大学学报, 40(6): 1006-1016.

thors infer that the source of ore-forming materials mainly came from the magmatic source of the upper crust. Combining with the geological characteristics of Chazangcuo deposit, and contrasting the typical magmatic hydrothermal vein-type deposit at home and abroad, the authors think that it belongs to the typical magmatic hydrothermal vein-type deposit.

**Key words:** ore-forming fluid; ore-forming material; magmatic hydrothermal vein-type; ore deposit; tectonics.

## 0 引言

21 世纪初,在西藏冈底斯带的找矿工作取得了重大突破,已陆续发现一批大中型铜、钼、金、铅、锌、银矿床,冈底斯成矿带已经成为中国重要的斑岩铜(钼)矿带之一。众多学者对该铜(钼)矿带进行了较为深入的研究(侯增谦等,2001;李光明和芮宗瑶,2004;郑有业,2004;高顺宝等,2012;孙祥等,2013;Wu *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2014a, 2014b),并指出冈底斯斑岩型矿床主要形成于中新世,集中分布在冈底斯成矿带南缘,以发育铜、钼、金矿化为主,成矿背景为印度—亚洲大陆碰撞后期的伸展环境,明显不同于岛弧带俯冲环境(Hou *et al.*, 2009, 2011)。其后,在冈底斯成矿带北缘发现了较多以银铅锌矿化为主的矿床(矿化点),它们构成了冈底斯成矿带北亚带。该亚带东部产于石炭—二叠系地层中的矿床发现较早,主要有蒙亚阿、洞中拉、洞中松多、亚贵拉等,研究程度相对较高(程文斌等,2010;王立强等,2010;黄克贤等,2012)。而近年来,该带中西部也发现了一批产在林子宗群火山岩中的多金属矿床,如查藏错 Cu-Pb-Zn 矿床、纳如松多 Ag-Pb 矿

床、德新 Pb-Zn 矿床等,初步显示了寻找此类矿床的较大潜力,它们集中分布在噶尔—隆格尔—扎日南木错—措麦断裂带两侧,研究程度极低。到目前为止,对西部地区的成矿背景、成矿作用及矿床成因还缺乏明确的认识。

因此,笔者选取查藏错铜铅锌矿床进行解剖。通过 C、H、O、S、Pb 同位素分析,结合前人已有的研究成果和矿区的基本地质特征,笔者对其成矿流体和成矿物质来源展开深入探讨,为该矿床的成因研究提供重要依据;同时也为冈底斯西部下一步的成矿规律总结、找矿工作部署及找矿方向确定提供了理论支撑。

## 1 矿区地质概况

查藏错铜铅锌矿床位于冈底斯成矿带的北亚带,大地构造隶属冈底斯—念青唐古拉板块的次级构造单元措勤—申扎火山岩浆弧的东南缘(图 1a)。

矿区出露地层主要为林子宗群典中组(K<sub>2</sub>-E<sub>1</sub>d)及第四系。典中组为一套钙碱性岛弧型火山岩地层,岩性以安山岩为主,另见英安质角砾熔岩、流纹质角砾岩及少量的含角砾英安岩、夹薄层状粗粒

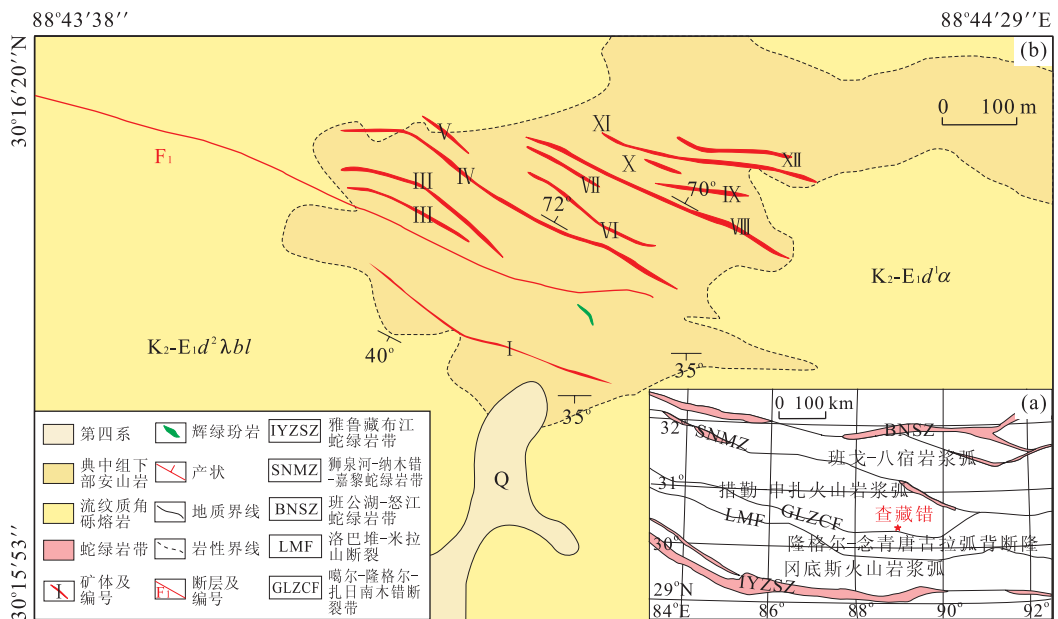


图 1 西藏冈底斯大地构造单元(a)和查藏错矿区地质图(b)

Fig. 1 Tectonic framework of Gangdese, Tibet (a) and geological map of Chazangcuo mining area (b)

岩屑长石砂岩等. 第四系主要分布于扎里曲谷地和下你弄巴谷地, 其成因类型比较复杂, 以残积、坡积、洪积最广, 次为湖积和冰碛. 矿区内构造较为发育, 主要发育一系列的北西西、北东向断裂和东西向的背斜构造. 矿区外围发育大量晚白垩世花岗闪长岩, 但矿区范围内未见大面积岩体出露, 仅在矿区中部见一条规模很小的强钠黝帘石化辉绿玢岩脉. 矿区发育青磐岩化、硅化、黄铁矿化、粘土化、绿泥石化、绢云母化等蚀变, 其中以青磐岩化、硅化与矿化关系最为密切. 蚀变带整体较窄, 多分布在矿体和断层两侧(图 1b).

矿区目前成规模的矿体有 13 条, 整体呈脉状赋存于张扭性断裂和背斜核部的裂隙中, 严格受断裂、裂隙等构造控制, 呈北西西—南东东方向展布, 倾向北东, 倾角较陡, 脉壁较为平整, 与围岩界线十分明显(图 2a、2b); 矿石品位整体较高; 矿脉类型主要有铜铅锌脉、含矿石英脉、含矿方解石脉, 脉宽不等, 变化介于 0.02~2.10 m 之间. 矿脉中含矿方解石脉所占比最大, 可分为含矿褐色方解石脉和含矿白色方解石脉; 其次为含矿石英脉, 明显可见其被含矿方解石脉穿插; 铜铅锌脉状矿体相对较少. 矿物组合较为简单, 主要有黄铜矿、黄铜矿—方铅矿、黄铜矿—斑铜矿、黄铜矿—黄铁矿—方铅矿、黄铜矿—方铅矿—闪锌矿. 矿石中金属矿物主要有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、黄铁矿、孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿

等; 非金属矿物以石英、方解石为主(图 2c、2d). 矿石构造主要为脉状、团块状、斑杂状, 另见少量呈浸染状、晶洞状、星点状构造分布在火山岩中. 金属矿物在一些石英或者方解石脉中具有一定的分带性, 自中心向外, 依次出现黄铜矿、闪锌矿、方铅矿(图 2c). 矿石结构较为单一, 主要见半自形晶结构、交代结构、乳浊状结构和共结边结构(图 2e、2f).

## 2 样品采集和测试方法

本文进行 S、Pb 同位素测试的样品(12 件)分别来自不同成矿期次、不同矿物组合的含矿石英脉和含矿方解石脉中的黄铜矿、方铅矿、闪锌矿. 制样过程如下: 先将样品通过肉眼进行初选, 再将矿石样品粉碎到 40~80 目, 在双目镜下挑选金属硫化物, 纯度在 98% 以上, 再磨至 200 目. 测试工作在核工业北京地质研究所完成, S 同位素测试仪器为 MAT-251, 所用质谱计型号为 MAT-251EM, 以 VCDT 为标准. Pb 同位素测试仪器为 MAT-261.

选取 2 件含矿石英脉和 5 件含矿方解石脉样品进行 C-H-O 测试. 制样过程: 将采集的样品逐级破碎、过筛, 选取粒级为 40~60 目的样品, 在双目显微镜下挑选纯净石英、方解石, 使其纯度在 99% 以上. 测试工作在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成. 其中 O 同位素分析采用 BrF<sub>5</sub> 法, H

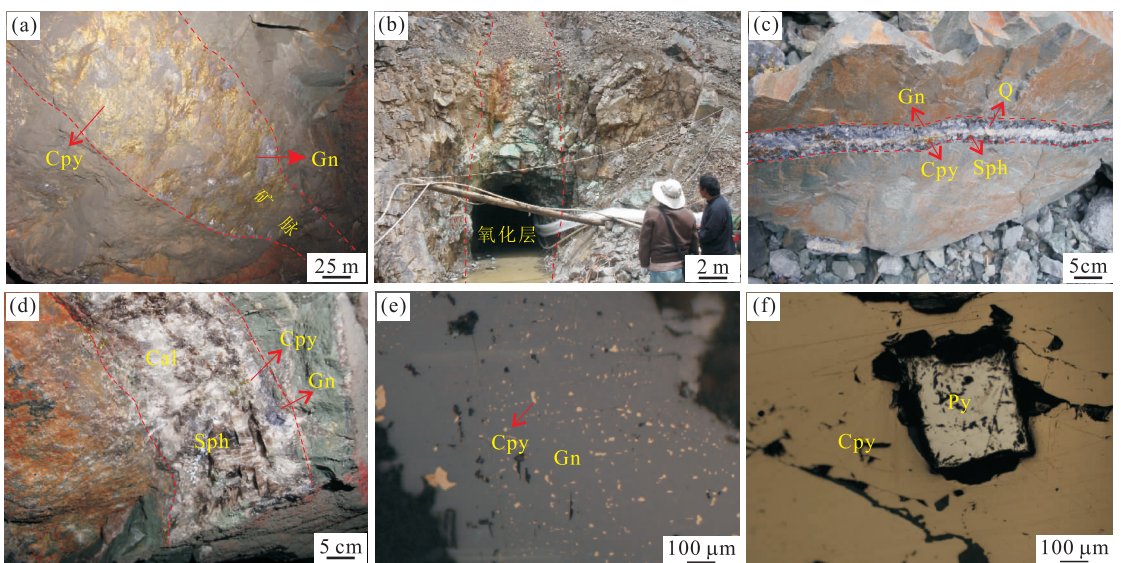


图 2 查藏错矿体及矿石组构照片

Fig. 2 The orebody and ore fabric pictures of Chazangcuo

a. 方铅矿—黄铜矿脉; b. 含孔雀石的氧化层; c. 石英—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿脉; d. 方解石—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿脉; e. 黄铜矿呈乳浊状结构交代闪锌矿; f. 黄铁矿呈半自形晶结构. Cpy. 黄铜矿; Gn. 方铅矿; Sph. 闪锌矿; Py. 黄铁矿; Q. 石英; Cal. 方解石

表 1 查藏错矿床碳氢氧同位素组成

Table 1 Carbon, hydrogen and oxygen isotopic compositions from the Chazangcuo deposit

矿区	样号	矿物	$\delta^{13}C_{V-PDB}$ (‰)	$\delta D_{V-SMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ (‰)(矿物)	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ (‰)(水)	资料来源
查藏错	CZC-12	石英	—	-73.00	0.30	-8.65	本文
	CZC-13	石英	—	-109.00	0.50	-8.46	
	CZC-14-1	方解石	-4.60	-111.00	2.60	-5.48	
	CZC-14-2	方解石	-2.40	-91.00	8.40	0.27	
	CZC-15	方解石	-5.60	-89.00	4.20	-3.89	
	CZC-16	方解石	-4.80	-68.00	1.60	-6.47	
	CZC-11	方解石	-2.70	-111.00	9.30	1.17	
康家湾	KJW-044	石英	—	-65.00	9.61	-5.17	左昌虎等, 2014
	KJW-04404	石英	—	-60.00	7.79	-7.25	
	KJW-048	石英	—	-68.00	7.26	-7.19	
	KJW-50-2	石英	—	-63.00	9.05	-5.32	
夏塞	K10-2	石英	—	-122.40	8.90	-4.90	陈冲, 2013
	K10-4	石英	—	-128.00	9.50	-3.60	
	K74-1	石英	—	130.50	13.80	7.90	
	4695-1-3	石英	—	-105.20	13.10	2.00	
	K18-3	石英	—	-137.50	11.10	-5.80	

同位素分析采用锌法, 测试仪器为 Finnigan MAT-253 EM 质谱计。H 同位素的分析精度为  $\pm 2\%$ , O 同位素的分析精度  $\pm 0.2\%$ 。H 和 O 同位素采用的国际标准为 SMOW。C-O 同位素样品用磷酸分解并冷冻收集纯净的  $CO_2$  气体, 在 MAT-253 质谱仪上进行测定, 测定结果分别以 PDB 和 SMOW 为标准, 精度优于  $\pm 0.2\%$ 。

### 3 C、H、O、S、Pb 同位素特征

#### 3.1 C、H、O 同位素特征

查藏错矿床的流体包裹体特征: 矿区内原生包裹体较为常见, 存在少许假次生的包裹体多沿方解石解理排列, 次生包裹体基本没有。矿区原生包裹体以气液包裹体为主, 其中富液相包裹体最常见, 富气相包裹体较少。包裹体大小变化较大, 从  $2\sim 15\ \mu m$  均可见, 平均在  $10\ \mu m$ 。包裹体类型以气液包裹体为主, 其他类型少见。包裹体形态以负晶形、长条状、不规则为主, 其他少见。测试结果显示: 流体成矿温度主要集中在  $260\ ^\circ C$ , 盐度多集中在  $3\% \sim 5\%$  NaCl equiv., 为中低温、低盐度的成矿流体(高顺宝, 未刊资料)。

通过对查藏错的 7 件样品进行测试分析, 得到以下数据(表 1): 查藏错矿床流体中的  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  值变化介于  $-8.65\% \sim 1.17\%$  之间, 平均值为  $-4.50\%$ , 极差为  $9.82\%$ ,  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  值整体较小, 其中含矿石英脉的  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  值变化介于  $-8.65\% \sim$

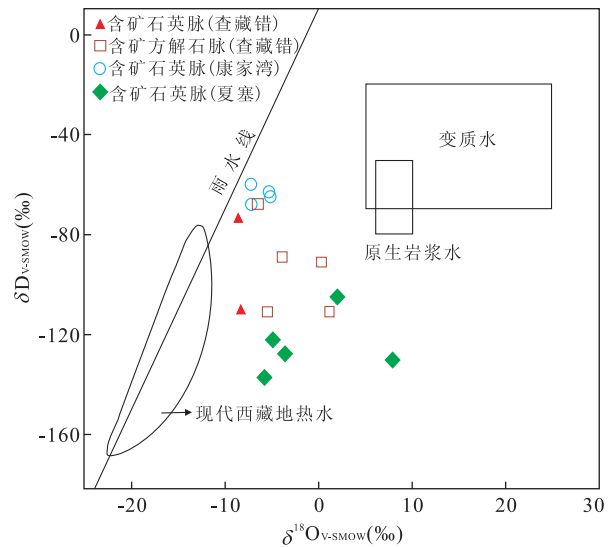


图 3 查藏错矿床成矿流体  $\delta D_{V-SMOW}-\delta^{18}O_{V-SMOW}$  关系 (Taylor, 1974)

Fig. 3  $\delta D_{V-SMOW}$  versus  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  of the Chazangcuo deposit

$-8.46\%$ , 平均值为  $-8.56\%$ , 极差很小; 含矿方解石脉的  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  值变化介于  $-6.47\% \sim 1.17\%$ , 平均值为  $-2.88\%$ , 极差为  $7.64\%$ 。  $\delta D_{V-SMOW}$  值变化介于  $-111.00\% \sim -68.00\%$ , 平均值为  $-93.14\%$ , 极差为  $-43.00\%$ , 其值略小于岩浆水。将数据投影到图上可知, 其介于大气降水线和岩浆水之间(图 3)。

查藏错矿区的含矿方解石脉的碳氧同位素分析结果显示, 查藏错矿区方解石的  $\delta^{13}C_{V-PDB} = -5.60\% \sim -2.40\%$ , 平均值为  $-4.02\%$ , 极差为  $3.20\%$ , 采用 Friedman and O'Neil(1977) 的公式:

表 2 西藏查藏错矿床和典型岩浆热液脉型矿床硫同位素组成

Table 2 Sulfur isotopic compositions of ore sulfides from the Chazangcuo deposit and the typical magmatic hydrothermal vein-type deposits

矿区	样号	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}(\text{‰})$	资料来源
查藏错	CZC-12-1	黄铜矿	0.40	本文
	CZC-12-2	方铅矿	0.90	
	CZC-13-1	黄铜矿	1.60	
	CZC-13-2	闪锌矿	3.00	
	CZC-14-1	黄铜矿	1.80	
	CZC-14-2	方铅矿	1.10	
	CZC-15-1	黄铜矿	2.30	
	CZC-15-2	方铅矿	1.70	
	CZC-18-1	黄铜矿	2.30	
	CZC-18-2	方铅矿	3.10	
	CZC-19-1	黄铜矿	-1.60	
	CZC-19-2	方铅矿	0.40	
	Arapucan	—	硫化物矿石	
Chehelkureh	—	硫化物矿石	1.00~5.00	Orgun <i>et al.</i> , 2005
拉诺玛	—	硫化物矿石	-1.60~2.60	陶琰等, 2011
康家湾	—	硫化物矿石	-6.20~3.00	杨传益, 1985
枫树板	—	硫化物矿石	-6.87~2.35	陈柏林等, 1999

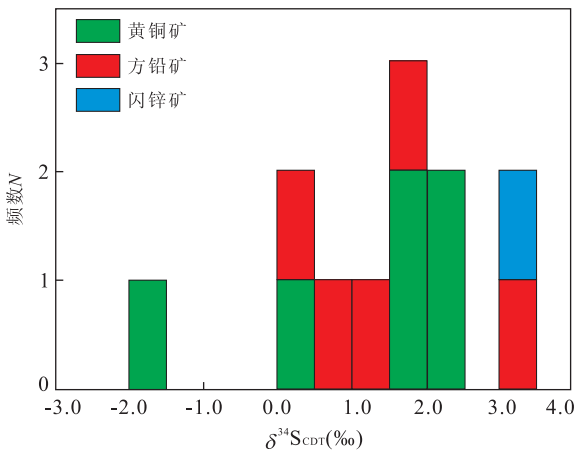


图 4 查藏错矿床矿石硫化物硫同位素组成频率直方图

Fig. 4 Frequency histogram of  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  for ore sulfides from Chazangcuo deposit

$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 1.03086\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} + 30.86$  ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  为全氧值), 计算得出  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  (矿物) = 1.60‰~9.30‰, 平均值为 5.22‰, 极差为 7.70‰.

### 3.2 S、Pb 同位素特征

通过对查藏错矿床的 12 件金属硫化物测试分析, 得到以下数据(表 2): 查藏错矿床矿石硫化物的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值变化介于 -1.60‰~3.10‰, 平均值为 1.42‰, 极差为 4.70‰. 其中 6 件黄铜矿的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值变化介于 -1.60‰~2.30‰ 之间, 平均值为 1.13‰, 极差为 3.90‰; 5 件方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值变化介于 0.40‰~3.10‰ 之间, 平均值为 1.44‰, 极

差为 2.70‰; 1 件闪锌矿的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值 3.00‰. 在矿石硫化物硫同位素组成频率直方图中, 具有明显的塔式分布特征(图 4).

矿石 Pb 同位素测试数据见表 3, 结果表明, 查藏错矿床矿石硫化物(方铅矿、黄铜矿、闪锌矿)的铅同位素比值较为稳定,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 18.660‰~18.726‰, 平均值为 18.679‰, 极差为 0.066‰;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 15.720‰~15.793‰, 平均值为 15.741‰, 极差为 0.073‰;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 39.221‰~39.480‰, 平均值 39.306‰, 极差为 0.259‰. 矿石硫化物铅同位素上述各比值变化范围不大. 12 件金属硫化物铅同位素组成特征值  $\mu$  普遍较大, 变化范围为 9.66~9.81, 平均值为 9.71.

## 4 讨论

### 4.1 成矿流体来源

成矿流体是成矿过程中最活跃的地质因素, 在整个成矿过程中, 经过萃取、溶解、搬运、沉淀和聚集, 形成矿物质, 是沟通矿源场、运移场和储矿场的媒介与纽带(翟裕生, 1999). 特别对于成矿过程与岩浆热液演化密切相关的矿床意义非凡.

成矿流体中的水来源广泛, 包括岩浆水、变质水、建造水、海水、大气降水等. 多数人将岩浆水的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的标准值定为:  $\delta\text{D} = -80\text{‰} \sim -40\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O} = 5.5\text{‰} \sim 9.5\text{‰}$ ; 大气降水及浅层地下水的 O、

H 同位素组成变化非常大,  $\delta D = -300\text{‰} \sim 131\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O = -54\text{‰} \sim 31\text{‰}$  (Hoefs, 1997; 郑永飞和陈江峰, 2000; Pirajno, 2009). 从表 1 可以看出查藏错床的  $\delta D_{V-SMOW}$  值 ( $-111.00\text{‰} \sim -68.00\text{‰}$ ) 和  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  值 ( $-8.65\text{‰} \sim 1.27\text{‰}$ ) 均小于岩浆水.  $\delta D_{V-SMOW} - \delta^{18}O_{V-SMOW}$  关系显示(图 3), 成矿流体介于大气降水和岩浆水之间, 虽然比较靠近大气降水, 但明显不同于现代西藏地热水(张理刚, 1985). 推测其原因可能是: 岩浆流体自深部向上运移过程中已经开始与天然水流体混合, 二者之间会发生同位素交换反应, 使得  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  值更加靠近大气降水. 伴随着成矿作用的进行, 大气降水逐渐增多, 参与了后期成矿过程. 同时, 这也与国内典型的岩浆热液脉型 Pb-Zn 矿床(康家湾、夏塞)的成矿流体特征一致, 具有岩浆水和大气降水混合的特点(图 3).

成矿流体中的碳主要来源于地幔射气、岩浆、碳酸盐岩脱气、含盐热卤水水岩反应、有机碳等. 查藏错含矿方解石脉中的  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  与  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  分别为  $-5.60\text{‰} \sim -2.40\text{‰}$ 、 $1.60\text{‰} \sim 9.30\text{‰}$ , 其中  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  与来自岩浆源的碳同位素变化范围十分相似 ( $-9.00\text{‰} \sim -3.00\text{‰}$ ; Veizer *et al.*, 1980; 郑永飞和陈江峰, 2000), 表明成矿流体中的碳主要来自于岩浆源. 同时, 其同位素特征具有向大气降水逐渐演化的趋势(图 5), 进一步佐证了查藏错矿床的成矿流体早期主要来自岩浆热液, 后期由于大气降水不断加入, 成矿流体具有混合流体的特征.

### 4.2 成矿物质来源

硫同位素可以提供硫化物金属矿床中矿化剂来

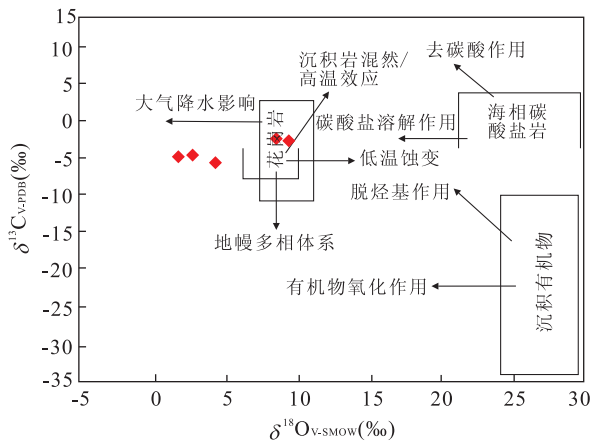


图 5 查藏错矿床含矿方解石  $\delta^{13}C_{V-PDB} - \delta^{18}O_{V-SMOW}$  关系

Fig. 5  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  vs.  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  isotopic compositions of ore-bearing calcites from Chazangcuo deposit  
底图据刘建明等(1998), 毛景文等(2002)修改

源的重要信息, 硫元素在成矿物质富集和沉淀过程中更是起着举足轻重的作用 (Rye and Ohmoto, 1974; Ohmoto, 1986; Hoefs, 1997). 由于硫元素在自然界中主要以  $^{32}S$ 、 $^{34}S$  两种稳定同位素存在, 热液中溶解的不同价态含硫原子团之间存在硫同位素分馏, 因此热液矿物的硫同位素不仅取决于源区物质的  $\delta^{34}S_{CDT}$  值, 而且与含硫物质在热液中的迁移和矿物质沉淀时的物理化学条件有关, 是不同温度和 pH 值的函数. 本矿区内矿物组合简单且缺乏硫酸盐矿物, 这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馏都比较弱. 因此热液中总硫大致与硫化物的  $\delta^{34}S_{CDT}$  值相当(李永胜等, 2012; 王立强等, 2012).

本文数据显示,  $\delta^{34}S_{CDT}$  集中分布于  $0.50\text{‰} \sim 2.50\text{‰}$ , 平均值为  $1.42\text{‰}$ (表 2), 变化范围狭窄, 具有明显的塔式分布特征(图 4). 对比国内外与岩浆热液有关的脉型铅锌多金属矿床(Arapucan、Chehelkureh、拉诺玛、康家湾、枫树板等矿床), 发现它们的分布范围都比较接近, 而且变化范围较小(图 6). 同时, 矿区地层内未见含硫酸盐的矿物出现, 从而排除沉积硫源的可能, 表明矿石中的硫主要来源于相对单一岩浆来源. 从地壳或者上地幔物质部分熔融产生的未受混染的酸性火成岩岩浆中分离出来的热液的  $\delta^{34}S_{CDT}$  为  $-3.00\text{‰} \sim 7.00\text{‰}$  (Ohmoto, 1986), 与本区成矿热液的  $\delta^{34}S_{CDT}$  值相当, 推测查藏错矿床的硫很可能是来源于地壳或者上地幔部分熔融产生的隐伏的侵入岩或者次火山岩(岩浆热液).

铅同位素组成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, 其组成的变化主要是由 U、Th 放射性衰变引起的, 与任何物

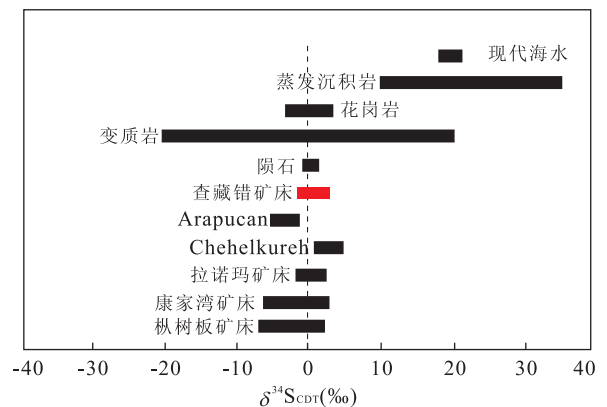


图 6 查藏错矿床 S 同位素组成分布

Fig. 6 Distribution of  $\delta^{34}S_{CDT}$  of ore sulfides from the Chazangcuo deposit

表 3 西藏查藏错矿床和典中组火山岩铅同位素组成

Table 3 Lead isotopic compositions of ore sulfides from the Chazangcuo deposit and the volcanic rocks of Dianzhong Formation, Tibet

矿区	样号	矿物	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	μ	资料来源
查藏错	CZC-12-1	黄铜矿	18.698	15.767	39.388	9.67	本文
	CZC-12-2	方铅矿	18.660	15.723	39.248	9.71	
	CZC-13-1	黄铜矿	18.676	15.720	39.294	9.73	
	CZC-13-2	闪锌矿	18.659	15.720	39.229	9.73	
	CZC-14-1	黄铜矿	18.675	15.740	39.292	9.81	
	CZC-14-2	方铅矿	18.687	15.752	39.336	9.66	
	CZC-15-1	黄铜矿	18.689	15.749	39.334	9.67	
	CZC-15-2	方铅矿	18.726	15.793	39.480	9.69	
	CZC-18-1	黄铜矿	18.655	15.715	39.221	9.74	
	CZC-18-2	方铅矿	18.663	15.721	39.231	9.72	
	CZC-19-1	黄铜矿	18.669	15.731	39.258	9.56	
	CZC-19-2	方铅矿	18.694	15.758	39.362	9.77	
林周盆地典中组火山岩	典中组 3	----	18.640 5	15.637 1	38.689 0	9.54	莫宣学,2011
		----	18.641 8	15.573 1	38.670 3	9.46	
	典中组 2	----	18.716 1	15.581 3	38.655 2	9.52	
		----	18.754 0	15.656 6	38.784 5	9.53	
		----	18.683 6	15.609 7	38.754 1	9.49	
	典中组 1	----	18.707 4	15.644 8	39.012 1	9.55	
措勤地区典中组火山岩	PM004-11TZ	----	18.734	15.651	39.053	9.66	岳相元,2012
	PM004-7TZ	----	18.821	15.634	39.324	9.51	
	P11-7B1	----	18.708	15.657	39.136	9.68	
	P11-11B1	----	18.846	15.721	39.387	9.67	
	PM004-13TZ	----	18.501	15.628	39.127	9.71	
	P11-28B1	----	18.757	15.729	39.237	9.73	

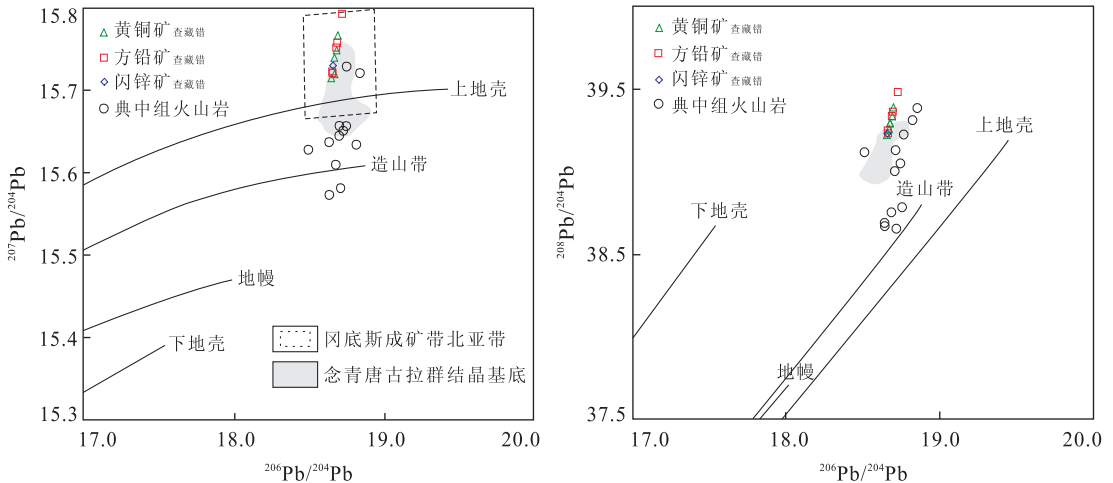


图 7 查藏错矿床矿石硫化物铅同位素构造环境演化图解(Zartman and Doe, 1981)

Fig. 7 Diagram showing evolutionary tectonic settings of lead isotopes of ore sulfides from the Chazangcuo deposit

理、化学条件的变化无关. 因此铅同位素组成是示踪成矿物质来源最直接、最有效的一种方法, 被广泛应用于各种矿床的研究中.

查藏错矿床铅同位素组成比较稳定(表 3), 比值均一, 变化范围很小, 显示出普通铅特征, 说明该矿床的铅来自较稳定的铅源. 将铅同位素组成数据(12 个)投影到铅同位素构造模式图解上(图 7), 发

现其数据非常集中, 均落在上地壳区域, 显示了成矿物质主要来自上地壳. 同时, 铅同位素源区特征值, 尤其是 μ 值的变化能提供地质体经历地质作用的信息, 反映铅的来源(王立强等, 2010), 具有高 μ 值(>9.58)的铅通常被认为是来自 U、Th 相对富集的上部地壳物质(Zartman and Doe, 1981; 吴开兴等, 2002). 查藏错矿床矿石铅同位素 μ 值普遍较

大,变化范围为 9.66~9.81,平均值为 9.71,证明了铅源具有上地壳源区的特征.程文斌等(2010)总结冈底斯成矿带典型矿床中硫化物 Pb 同位素特征时指出,冈底斯成矿带具有从南到北成矿物质源区由幔源逐步过渡到壳源的特征,北成矿亚带的 Pb-Zn 矿床中的铅同位素(蒙亚阿、洞中拉、亚贵拉)具有上地壳铅源的特征.查藏错矿床隶属冈底斯成矿带北亚带,数据显示本文的铅同位素也符合此特征(图 7).同时类比借鉴前人对冈底斯成矿带上林子宗群典中组火山岩的 Pb 同位素研究结果(莫宣学,2011;岳相元,2012),发现林子宗群典中组火山岩 Pb 同位素比值变化范围较大,投影到图上可以发现,绝大多数投影点落在了造山带附近,有少数落在了地幔范围内,但是均小于查藏错矿床中金属硫化物的 Pb 同位素比值,表明查藏错矿床的成矿物质不是来自林子宗群典中组火山岩.

由于矿区内未见任何与矿床有明显时空成因联系的岩体,而矿区外围发育的晚白垩世侵入岩目前研究工作较少,研究成矿物质是否来自某个岩体不太现实,所以只能类比借鉴前人对冈底斯成矿带北亚带矿床的铅同位素特征.查藏错矿床位于措勤—申扎火山岩浆弧南侧,隶属中拉萨地块,莫宣学(2011)和朱弟成等(2012)认为中拉萨地块地壳属成熟地壳,具有念青唐古拉群基底结晶片麻岩.查藏错矿床的矿石铅同位素比值均落在了 Gariepy *et al.* (1985)所总结的念青唐古拉群基底结晶片麻岩区域内(图 7).由此推测,印度板块和欧亚板块在碰撞开始阶段,亏损的新特提斯洋壳熔融形成的高温玄武质岩浆底侵(莫宣学,2011),造成成熟地壳的念青唐古拉群结晶片麻岩发生熔融;在随后应力松弛阶段上侵就位成岩,为成矿物质提供了最基本的物质基础;最后,成矿物质从基底活化分离并聚集沉淀,其矿石硫化物的 Pb 同位素组成继承了基底片麻岩的特征.

#### 4.3 矿床成因

Li *et al.* (2013)总结认为在全球范围内呈脉状产出的铅锌矿床多与两类地质环境有关:一类产在火山岩浆弧中,铅锌矿床成因与岩浆—热液活动系统相联系(Voudouris *et al.*, 2008;付伟等,2013);另一类产在从前寒武纪到中生代的变质地体中,矿床发育则与岩浆侵入体没有直接的成因联系(Johnson *et al.*, 1996;Joncas and Beaudoin, 2002).

结合查藏错矿床的基本地质特征和 C、H、O、S、Pb 同位素特征,并对比研究国内外典型的岩浆热液

脉型矿床,均指示了矿床成因与岩浆热液成矿作用密切相关,而非火山热液矿床,具体体现如下:(1)矿床均呈脉状赋存于断裂、裂隙中,含矿围岩多为火山岩、沉积岩或者变质岩.矿石类型和矿物组合都比较简单,主要金属矿物为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、黄铁矿等,次要金属矿物为孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等;非金属矿物以石英、方解石、重晶石等为主;(2)查藏错矿床的流体包裹体以液相为主且具有中低温(集中分布在 260 ℃左右)、低盐度(3%~5% NaCl equiv.)的性质,这与国内外典型的岩浆热液脉型矿床(Arapucan、Chehelkureh、尤卡朗等)的流体包裹体性质比较相似(贾敬伍等,2014).它们的成矿温度集中分布在 200~300 ℃,成矿盐度为 3%~10% NaCl equiv.,揭示了成矿流体以岩浆热液为主,可能有少量大气降水混入;(3)C、H、O 同位素特征均表明成矿流体主要来自岩浆热液,伴随着成矿作用的进行,大气降水混入其中;对比研究国内外典型的岩浆热液脉型床(Arapucan、夏塞等),发现它们的成矿流体也是来自岩浆水和大气降水的混合,且主要来自于岩浆热液;(4)S 同位素特征指示,成矿物质中的 S 主要来自相对单一的岩浆源,这与国内外的岩浆热液脉型矿床(Arapucan、Chehelkureh、拉诺玛、康家湾、枫树板等)的 S 同位素组成的分布范围较为一致(-9.47‰~5.00‰),均表明成矿物质的硫主要来自岩浆源(图 6);(5)Pb 同位素结果表明,查藏错矿床的 Pb 主要来自上地壳,但明显不同于含矿火山岩围岩的 Pb 同位素特征.同样,国内外典型的岩浆热液脉型矿床(Chehelkureh、Arapucan、尤卡朗、夏塞等)的铅同位素来源一般与含矿围岩无关.因此,岩浆热液作用构成了查藏错矿床的主导成因机制.

## 5 结论

(1)查藏错矿床的流体包裹体以液相为主且具有中低温、低盐度的性质, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  值变化介于 -5.60‰~-2.40‰之间, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  值变化介于 -111.00‰~-68.00‰之间, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  值变化介于 -8.65‰~0.27‰之间,均表明了成矿流体早期来自岩浆热液,后期有大气降水的参与.

(2)矿石硫化物的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值集中分布在 0.50‰~2.50‰,具明显的塔式分布特征,表明矿石硫化物的硫主要来自相对单一岩浆源.铅同位素比值较为稳定,显示出普通上地壳铅源的特征,与冈底



斯成矿带北亚带的铅同位素比值相似。由此推测成矿物质主要来自上地壳的岩浆源,而非来自典中组火山岩围岩。矿床的形成可能与俯冲—碰撞诱发上地壳的念青唐古拉基底片麻岩熔融、活化基底中成矿物质有关。

(3)结合查藏错矿床地质特征,流体包裹体特征,C、H、O、S、Pb 同位素特征,同时对比研究国内外典型的岩浆热液脉型矿床,发现它们具有较大的相似性,表明该矿床属于典型的岩浆热液脉型。

(4)这一结果说明在冈底斯成矿带北亚带西部的林子宗群火山岩中不仅可以寻找火山热液型、矽卡岩型铜多金属矿床,而且要注意寻找岩浆热液脉型铜多金属矿床,同时给该地区下一步的成矿规律总结、找矿方向确定及勘查工作部署提供了理论支撑与约束。

致谢:在野外工作过程中,得到项目组其他人员的大力支持与帮助;在数据处理与撰写论文过程中,得到中国地质大学(北京)孙祥老师的认真指导和细心修改,在此一并致以诚挚的谢意!

## References

- Chen, B. L., Liu, J. M., Li, Y. S., 1999. Study on the Genesis and Geochemical Characteristics of the Zongshuban Lead-Zinc Deposit, Chen County, Hunan. *Mineral Resources and Geology*, 13(4): 39—43 (in Chinese with English abstract).
- Chen, C., 2013. The Ore Genesis and Fracture Structural Ore-controlling Regularities Analysis of Xiasai Silver-Lead-Zinc Deposit, Sichuan Province (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 54—58 (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; Implications for the Zonation of Ore-Forming Elements. *Acta Petrologica Sinica*, 26(11): 3350—3362 (in Chinese with English abstract).
- Friedman, I., O'Neil, J. R., 1977. Complication of Stable Isotope Fractionation Factors of Geochemical Interest. In: Fleischer, M., ed., *Data of Geochemistry-Six Edition*. Geological Survey Professional Paper, U. S., 117.
- Fu, W., Chai, M. C., Yang, Q. J., et al., 2013. Genesis of Fozichong Pb-Zn Polymetallic Deposit; Constraints from Fluid Inclusions and H-O-S-Pb Isotopic Evidences. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4136—4150 (in Chinese with English abstract).
- Gao, S. B., Zheng, Y. Y., Tian, L. M., et al., 2012. Geochronology of Magmatic Intrusions and Mineralization of Chagele Copper-Lead-Zinc Deposit in Tibet and Its Implications. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(3): 507—514 (in Chinese with English abstract).
- Gariépy, C., Allegre, C. J., Xu, R. H., 1985. The Pb Isotope Geochemistry of Granites from the Himalaya-Tibet Collision Zone: Implication for Crustal Evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 74(2—3): 220—234. doi:10.1016/0012-821X(85)90023-8
- Hoefs, J., 1997. *Stable Isotope Geochemistry* (4). Springer Verlag, Berlin, 199—201.
- Hou, Z. Q., Qu, X. M., Huang, W., et al., 2001. The Gangdese Porphyry Copper Metallogenic Belt is Expected to Become the Second “Yulong” Copper Belt in Tibet. *Chinese Geology*, 28(10): 27—29, 40 (in Chinese).
- Hou, Z. Q., Yang, Z. M., Qu, X. M., et al., 2009. The Miocene Gangdese Porphyry Copper Belt Generated during Post-Collisional Extension in the Tibetan Origin. *Ore Geology Reviews*, 36: 25—51. doi:10.1016/j.oregeorev.2008.09.006
- Hou, Z. Q., Zhang, H. R., Pan, X. F., et al., 2011. Porphyry Cu (-Mo-Au) Deposits Related to Melting of Thickened Mafic Lower Crust: Examples from the Eastern Tethyan Metallogenic Domain. *Ore Geology Reviews*, 39: 21—45. doi:10.1016/j.oregeorev.2010.09.002
- Huang, K. X., Zheng, Y. C., Zhang, S., et al., 2012. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Two Types of Porphyry in the Yaguila Mining Area, Tibet. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(3): 348—360 (in Chinese with English abstract).
- Jia, J. W., Zhang, H. R., Hu, M. D., 2014. The Progress in the Study of Vein Pb-Zn-Cu-Ag Polymetallic Epithermal Deposits. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(4): 726—746 (in Chinese with English abstract).
- Johnson, C. A., Cardellach, E., Tritlla, J., 1996. Cierco Pb-Zn-Ag Vein Deposits; Isotopic and Fluid Inclusion Evidence for Formation during the Mesozoic Extension in the Pyrenees of Spain. *Economic Geology*, 91: 497—506. doi:10.2113/gsecongeo.91.3.497
- Joncas, I., Beaudoin, G., 2002. The St. Eugene Deposit, British Columbia: A Metamorphosed Ag-Pb-Zn Vein in Proterozoic Belt-Purcell Rocks. *Economic Geology*, 97: 11—22. doi:10.2113/gsecongeo.97.1.11 v. 97 no. 1 p. 11—22
- Li, G. M., Rui, Z. Y., 2004. Diagenetic and Mineralization Ages for the Porphyry Copper Deposits in the Gangdise

- Metallogenic Belt, Southern Xizang. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2):165—170 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. S., Lü, Z. C., Yan, G. S., et al., 2012. Isotopic Characteristics of S, Pb, H and O of Jiama Copper-Polymetallic Ore Deposit, Tibet and Their Significance. *Earth Science Frontier*, 19(4):72—81 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. K., Li, J. W., Zhao, X. F., et al., 2013. Crustal-Extension Ag-Pb-Zn Veins in the Xiong'ershan District, Southern North China Craton: Constraints from the Shagou Deposit. *Economic Geology*, 108: 1703—1729. doi:10.2113/econgeo.108.7.1703
- Liu, J. M., Liu, J. J., Zheng, M. H., et al., 1998. Stable Isotope Compositions of Micro-Disseminated Gold and Genetic Discussion. *Geochimica*, 27(6):585—591 (in Chinese with English abstract).
- Maanijou, M., Rasa, I., Lentz, D. R., 2012. Petrology, Geochemistry, and Stable Isotope Studies of the Chelkureh Cu-Zn-Pb Deposit, Zahedan, Iran. *Economic Geology*, 107(4):683—712. doi:10.2113/econgeo.107.4.683 v. 107 no. 4 p. 683—712
- Mao, J. W., He, Y., Ding, T. P., 2002. Mantle Fluids Involved in Metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) Gold District: Evidence of C, O and H Isotopes. *Mineral Deposits*, 21(2):121—128 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., 2011. Magmatism and Evolution of the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Journal of China Universities*, 17(3):351—367 (in Chinese with English abstract).
- Ohmoto, H., 1986. Stable Isotope Geochemistry of Ore Deposits. *Reviews in Mineralogy*, 16(1):491—559.
- Orgun, Y., Gultekin, A. H., Onal, A., 2005. Geology, Mineralogy and Fluid Inclusion Data from the Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag Deposit, Canakkale, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(4):629—642. doi:10.1016/j.jseaes.2004.06.006
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal Process and Mineral System. Springer, Berlin, 1129—1250.
- Rye, R. O., Ohmoto, H., 1974. Sulfur and Carbon Isotope and Ore Genesis; A Review. *Economic Geology*, 69(6):827—842. doi:10.2113/gsecongeo.69.6.826
- Sun, X., Zheng, Y. Y., Wu, S., et al., 2013. Mineralization Age and Petrogenesis of Associated Intrusions in the Mingze-Chengba Porphyry-Skarn Mo-Cu Deposit, Gangdese. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4):1392—1406 (in Chinese with English abstract).
- Tao, Y., Bi, X. W., Xin, Z. L., et al., 2011. Geology, Geochemistry and Origin of Lanuoma Pb-Zn-Sb Deposit in Changdu Area, Tibet. *Mineral Deposits*, 30(4):599—615 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, H. P., 1974. The Application of Oxygen and Hydrogen Isotope Studies to Problems of Hydrothermal Alteration and Ore Deposition. *Economic Geology*, 69(6):843—883. doi:10.2113/gsecongeo.69.6.843
- Veizer, J., Holser, W. T., Wilgus, C. K., et al., 1980. Correlation of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  Secular Variation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44:579—588. doi:10.1016/0016-7037(80)90250-1
- Voudouris, P., Melfos, V., Spry, P. G., 2008. Carbonate-Replacement Pb-Zn-Ag±Au Mineralization in the Kamariza Area, Lavrion, Greece: Mineralogy and Thermochemical Conditions of Formation. *Mineralogy and Petrology*, 94:85—106. doi:10.1007/s00710-008-0007-4
- Wang, L. Q., Gu, X. X., Cheng, W. B., et al., 2010. Sulfur and Lead Isotope Composition and Tracing for the Sources of Ore-Forming Materials in the Mengya'a Pb-Zn Deposit, Tibet. *Geoscience*, 24(1):52—58 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. Q., Luo, M. C., Yuan, Z. J., et al., 2012. Sulfur, Lead, Carbon and Oxygen Isotope Composition and Source of Ore-Forming Materials of the Bangpu Pb-Zn Ore Deposit in Tibet. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(4):435—443 (in Chinese with English abstract).
- Wu, K. X., Hu, R. Z., Bi, X. W., et al., 2002. Ore Lead Isotopes as a Tracer for Ore-Forming Material Sources; A Review. *Geology-Geochemistry*, 30(3):73—81 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S., Zheng, Y. Y., Sun, X., et al., 2014. Origin of the Miocene Porphyries and Their Mafic Microgranular Enclaves from Dabu Porphyry Cu-Mo Deposit, Southern Tibet: Implications for Magma Mixing/Mingling and Mineralization. *International Geology Review*, 56(5):571—595. doi:10.1080/00206814.2014.880074
- Yang, C. Y., 1985. The Finding and Genesis of Kangjiawan Pb-Zn Deposit. *Geology and Prospecting*, 21(5):1—7 (in Chinese).
- Yue, X. Y., 2012. Geochemical Characteristics and Significance of Dianzhong Volcanic Rocks in the Cuoqin Area Tibet, China (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu, 35—36 (in Chinese with English abstract).
- Zartman, R. E., Doe, B. R., 1981. Plumbotectonics—The Model. *Tectonophysics*, 75:135—162. doi:10.1016/0040-1951(81)90213-4
- Zhai, Y. S., 1999. On the Metallogenic System. *Earth Science Frontiers*, 6(1):13—27 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. G., 1985. The Application of the Stable Isotope to Geology. Shaanxi Science and Technology Press, Xi'an,

200—210 (in Chinese).

- Zheng, Y. F., Chen, J. F., 2000. Stable Isotope Geochemistry. Science Press, Beijing, 143—153 (in Chinese).
- Zheng, Y. Y., Sun, X., Gao, S. B., et al., 2014a. Multiple Mineralization Events at the Jiru Porphyry Copper Deposit, Southern Tibet; Implications for Eocene and Miocene Magma Sources and Resource Potential. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 842—857. doi:10.1016/j.jseas.2014.11.036
- Zheng, Y. Y., Sun, X., Gao, S. B., et al., 2014b. Analysis of Stream Sediment Data for Exploring the Zhunuo Porphyry Cu Deposit, Southern Tibet. *Journal of Geochemical Exploration*, 143: 19—30. doi:10.16/j.gexplo.2014.02.12
- Zheng, Y. Y., Xue, Y. X., Cheng, L. J., et al., 2004. Finding, Characteristics and Significances of Qulong Superlarge Porphyry Copper (Molybdenum) Deposit, Tibet. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(10): 103—108 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2012. Origin and Paleozoic Tectonic Evolution of the Lhasa Terrane. *Geological Journal of China Universities*, 18(1): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- Zuo, C. H., Miu, B. H., Zhao, Z. X., et al., 2014. A Study on the Isotopic Geochemistry of Kangjiawan Lead-Zinc Deposit, Changning County, Hunan Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 34(3): 351—359 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈柏林, 刘建民, 李玉生, 1999. 枫树板铅锌矿床地球化学特征及成因探讨. *矿产与地质*, 13(4): 39—43.
- 陈冲, 2013. 四川省巴塘县夏塞银铅锌矿床成因及断裂控矿规律(硕士学位论文). 武汉: 中国地质大学, 54—58.
- 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. *岩石学报*, 26(11): 3350—3362.
- 付伟, 柴明春, 杨启军, 等, 2013. 广西佛子冲大型铅锌多金属矿床的成因: 流体包裹体和 H-O-S-Pb 同位素地球化学约束. *岩石学报*, 29(12): 4136—4150.
- 高顺宝, 郑有业, 田立明, 等, 2012. 西藏查个勒铜铅锌矿成矿时代及意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(3): 507—514.
- 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 等, 2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带. *中国地质*, 28(10): 27—29, 40.
- 黄克贤, 郑远川, 张松, 等, 2012. 西藏亚贵拉矿区两期岩体

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义. *岩石矿物学杂志*, 31(3): 348—360.

- 贾敬伍, 张洪瑞, 胡茂德, 2014. 脉状铅锌(铜、银)多金属热液矿床研究进展. *岩石矿物学杂志*, 33(4): 726—746.
- 李光明, 芮宗瑶, 2004. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成矿成矿年龄. *大地构造与成矿学*, 28(2): 165—170.
- 李永胜, 吕志成, 严光生, 等, 2012. 西藏甲玛铜多金属矿床 S-Pb-H-O 同位素特征及其指示意义. *地学前缘*, 19(4): 72—81.
- 刘建明, 刘家军, 郑明华, 等, 1998. 微细浸染型金矿床的稳定同位素特征与成因探讨. *地球化学*, 27(6): 585—591.
- 毛景文, 赫英, 丁悌平, 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据. *矿床地质*, 21(2): 121—128.
- 莫宣学, 2011. 岩浆作用与青藏高原演化. *高校地质学报*, 17(3): 351—367.
- 孙祥, 郑有业, 吴松, 等, 2013. 冈底斯明则—程巴斑岩—夕卡岩型 Mo-Cu 矿床成矿时代与含矿岩石成因. *岩石学报*, 29(4): 1392—1397.
- 陶琰, 毕献武, 辛忠雷, 等, 2011. 西藏昌都地区拉诺玛铅锌锡多金属矿床地质地球化学特征及成因分析. *矿床地质*, 30(4): 599—615.
- 王立强, 顾雪祥, 程文斌, 等, 2010. 西藏蒙亚阿铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪. *现代地质*, 24(1): 52—58.
- 王立强, 罗茂澄, 袁志洁, 等, 2012. 西藏邦铺铅锌矿床 S、Pb、C、O 同位素组成及成矿物质来源研究. *地球学报*, 33(4): 435—443.
- 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. *地质地球化学*, 30(3): 73—81.
- 杨传益, 1985. 康家湾铅锌矿床的发现及成因. *地质与勘探*, 21(5): 1—7.
- 岳相元, 2012. 西藏措勤地区典中组火山岩地球化学特征及其地质意义(硕士学位论文). 成都: 成都理工大学, 35—36.
- 翟裕生, 1999. 论成矿系统. *地学前缘*, 6(1): 13—27.
- 张理刚, 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用—金属活化热液成矿作用及找矿. 西安: 陕西科学技术出版社, 88.
- 郑永飞, 陈江峰, 2000. 稳定同位素地球化学. 北京: 科学出版社, 143—153.
- 郑有业, 薛迎喜, 程力军, 等, 2004. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床: 发现, 特征及意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(10): 103—108.
- 朱弟成, 赵志丹, 牛耀龄, 等, 2012. 拉萨地体的起源和古生代构造演化. *高校地质学报*, 18(1): 1—15.
- 左昌虎, 缪柏虎, 赵增震, 等, 2014. 湖南常宁康家湾铅锌矿床同位素地球化学研究. *矿物学报*, 34(3): 351—359.