

# 云南卓玛铅锌矿床地球化学特征及矿床成因

金灿海 范文玉 张 海 沈战武 张 琦 高建华

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

**摘要:**云南卓玛铅锌矿位于义敦岛弧南端的中甸弧, 矿体产于印支期石英二长斑岩中, 受断裂破碎带控制。通过对非矿斑岩、碎裂斑岩矿石、脉状矿石的稀土元素及矿石方铅矿硫、铅同位素的研究, 表明非矿斑岩与矿石的稀土元素地球化学特征相似, 矿石与斑岩同源。方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}$  变化范围为  $-0.01\text{‰}$ ~ $-2.90\text{‰}$ , 为幔源岩浆硫, 铅同位素  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.0959~18.1119,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.6118~15.6191,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.2515~38.2918, 矿石铅主要来自造山环境, 源区属于以幔源铅为主的壳幔混合源。矿区铅锌矿化富集与印支晚期卓玛复式斑岩体密切相关, 矿床属受断裂破碎带控制的岩浆热液充填-交代型矿床。

**关键词:**卓玛铅锌矿; 地球化学; 矿床成因; 云南

**中图分类号:** P595; P618.42; P618.43

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3657(2013)06-1902-10

中甸地区与印支期中酸性侵入岩有关的矿床多为斑岩型、矽卡岩型铜矿, 如著名的普朗铜矿、雪鸡坪铜矿、红山铜矿。国内学者对区内斑岩型铜矿、矽卡岩型铜矿进行了大量的岩石学、地球化学、构造背景、成矿学和年代学研究<sup>[1-24]</sup>。卓玛铅锌矿体产于印支期卓玛复式中酸性斑岩体<sup>[18]</sup>内的断裂破碎带中, 矿体呈脉状, 为一中型铅锌矿床。由于铅锌矿床在中甸地区数量少, 规模较小, 前人仅对其矿床特征与资源潜力进行了研究<sup>[25]</sup>。笔者在矿区野外调研基础上, 通过对矿床不含矿斑岩、碎裂斑岩型矿石、脉状矿石的稀土元素及矿石方铅矿硫、铅同位素的研究, 示踪成矿物质来源, 分析和讨论了矿床成因, 提出该矿床属受断裂破碎带控制的岩浆热液充填-交代型矿床, 表明中甸地区在印支晚期主要形成斑岩型、矽卡岩型铜多金属矿床之外, 还存在与印支期斑岩有关的受断裂破碎带控制的岩浆热液铅锌矿化, 拓宽了中甸地区的找矿思路。

## 1 区域地质背景

卓玛铅锌矿位于义敦岛弧南端的中甸弧(图 1)。

中甸弧具有义敦岛弧的一般特征, 经历了印支期的洋壳俯冲、燕山期的陆陆碰撞和喜山期的陆内汇聚 3 大造山阶段<sup>[5-7]</sup>。区内 NW 向构造十分发育, 表现为 NW 向断裂及 NW 向褶皱对地层和岩浆活动起着重要的控制作用。燕山期岩浆活动在区内热林及休瓦促地区出露并与铜多金属成矿相关<sup>[4]</sup>, 然而出露最多保存最好的是印支期岩石和地层, 为再现印支期的构造-岩浆活动提供了重要的物质基础。区内出露地层以三叠系为主, 其下、中统为一套碎屑岩夹碳酸盐岩、硅质岩, 上统为一套巨厚复理石砂板岩夹火山岩、碳酸盐岩。火山岩主要为晚三叠世, 以安山岩为主的钙碱性玄武岩和安山岩, 分别分布于曲嘎寺组( $T_{3q}$ ) 和图姆沟组( $T_{3t}$ ) 中。与安山岩伴生的印支期中酸性浅成斑岩与成矿密切相关<sup>[9]</sup>, 往往以复式岩体形式出现, 其岩性主要为石英闪长玢岩, 同时也包含石英二长斑岩, 常出现在中心相。石英二长斑岩、石英闪长斑岩与铜矿化密切相关, 其中工业矿体大多赋存在石英二长斑岩体中, 部分产在岩体内外接触带中<sup>[17,25,26]</sup>。

收稿日期: 2013-01-22; 改回日期: 2013-10-12

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查专项项目(1212011120608)资助。

作者简介: 金灿海, 男, 1965 年生, 教授级高工, 主要从事区域成矿规律研究; E-mail: jcanhai@cgs.cn。

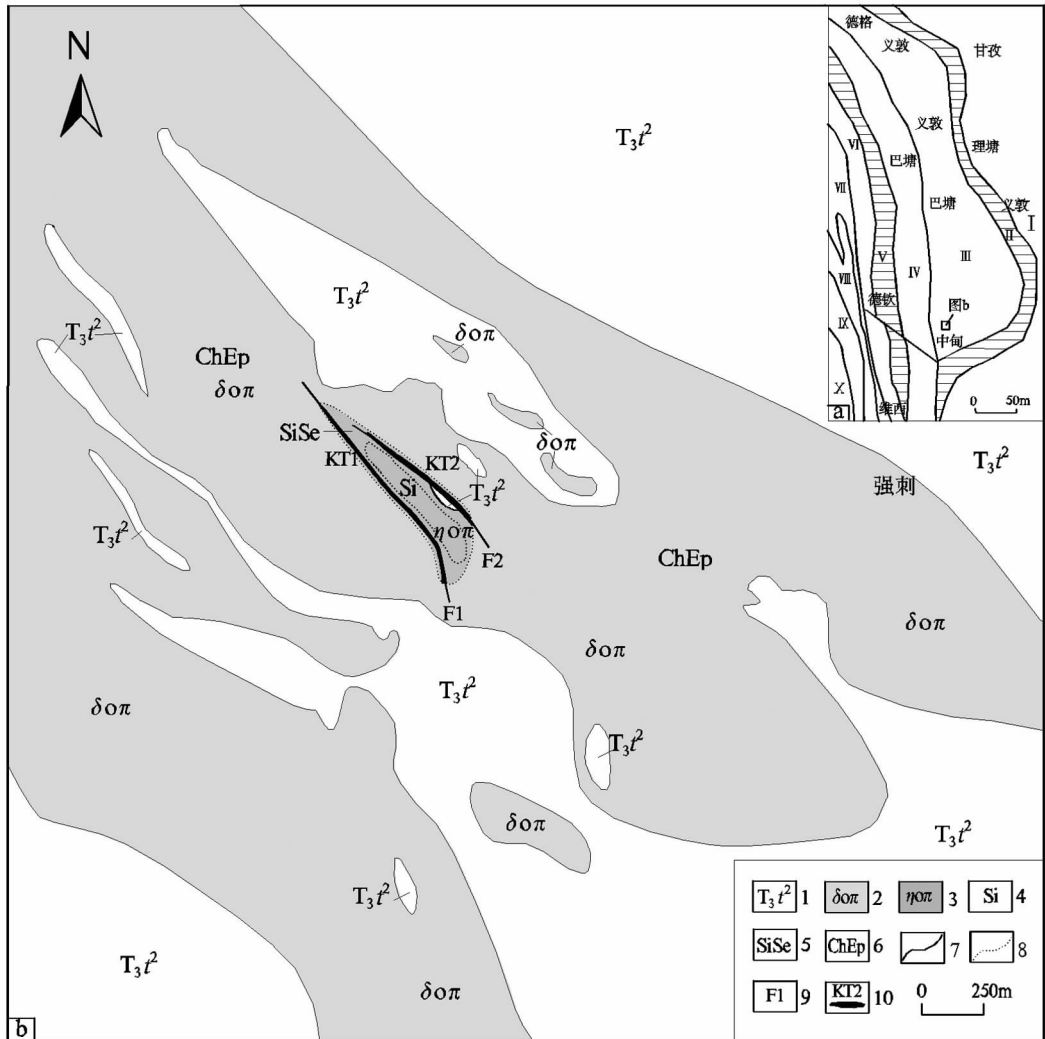


图 1 卓玛铅锌矿地质简图(据文献[27]修改)

a—格咱火山-岩浆弧大地构造位置图: I—扬子陆块; II—甘孜-理塘结合带; III—义敦岛弧带; IV—中咱地块; V—金沙江结合带; VI—江达-维西火山弧; VII—昌都-兰坪地块; VIII—三达山-景洪火山弧; IX—澜沧江结合带; X—保山地块;  
 b—卓玛铅锌矿区地质图: 1—图姆沟组二段; 2—石英闪长斑岩; 3—石英二长斑岩; 4—强硅化带; 5—绢英岩化带; 6—青磐岩化带; 7—地质界线; 8—蚀变界线; 9—断层及编号; 10—矿体及编号

Fig.1 Simplified geological map of the Zhuoma lead-zinc deposit(modified after Reference[27])

a—Tectonic position map of Geza volcanic magmatic arc: I—Yangzi landmass; II—Ganzi-Litang conjunction zone; III—Yidun island arc zone; IV—Zhongza massif; V—Jinshajiang conjunction zone; VI—Jiangda-Weixi volcanic arc; VII—Changdu-Lanping massif; VIII—Sandashan-Jinghong volcanic arc; IX—Lancangjiang conjunction zone; X—Baoshan massif;  
 b—Simplified geological map of the Zhuoma lead-zinc deposit: 1—2nd member of Qugasi Formation; 2—Quartz diorite porphyry; 3—Quartz monzonite porphyry; 4—Strong silicification belt; 5—Sericitization zone; 6—Propylitic zone; 7—Geological boundary; 8—Alteration boundary; 9—Fault and its serial number; 10—Ore body and its serial number

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿区地质特征

矿区出露地层为图姆沟组二段( $T_3t^2$ ),岩性为板岩、粉砂绢云板岩、变质砂岩、大理岩、安山岩、英安岩、流纹岩,夹火山碎屑岩。

矿区为向北东倾斜的单斜构造,地层倾角  $30^\circ \sim 80^\circ$ ,矿区发育 2 条 NW 向断裂,近于平行展布,断层带内斑岩破碎,充填有铅锌矿体,是矿区主要的储矿和导矿构造。

矿区侵入岩为卓玛复式中酸性斑岩体,岩体呈岩株状北西向侵入图姆沟组二段 ( $T_3t^2$ ) 大理岩、板

岩、变质砂岩中,出露长大于 9 km、宽 0.65~3.90 km,面积 14.50 km<sup>2</sup>。由石英闪长玢岩、石英二长斑岩组成,以前者为主,石英二长斑岩呈小岩瘤侵入于石英闪长玢岩中。

## 2.2 矿体特征

矿区已发现矿体 2 个,编号为 KT1、KT2,彼此近于平行分布,严格受 NW 向断层破碎带控制。

KT1:为矿区主矿体,呈脉状产于卓玛复式中酸性斑岩体中部石英二长斑岩中的 NW 向断层破碎带中。矿体倾向 43°,倾角 80°~87°。矿体长 650 m,控制厚 3.96~6.68 m,平均 4.88 m。含矿岩石与顶、底板一致,均为碎裂石英二长斑岩。矿石含 Pb 0.2%~8.82%,平均 2.33%;Zn 0.42%~2.31%,平均 1.88%;Cu 0.11%~1.93%,平均 0.73%;Ag 9.05~174 g/t,平均 52.46 g/t<sup>[25]</sup>。

KT2:位于 KT1 北东部,与 KT1 近于平行,呈脉状产于石英二长斑岩中的 NW 向断层破碎带中。矿体倾向 45°,倾角 77°。矿体长 250 m,厚 16.45 m。含矿岩石主要为碎裂石英二长斑岩,顶板为碎裂石英二长斑岩,底板主要为碎裂石英二长斑岩,少量大理岩、角岩。矿石 Pb 0.53%~8.62%,平均 3.35%;Zn 1.15%~13.78%,平均 3.95%;Cu 0.11%~0.23%,Cu 含量较低<sup>[25]</sup>。

经资源量估算,KT1、KT2 共获铅金属量 10.86 t,锌金属量 6.40 万 t,铅+锌 17.26 万 t;伴生银金属量 139314 kg、铜金属量 1.58 万 t<sup>①</sup>。

## 2.3 矿石特征

矿石类型主要为脉状铅锌矿石、碎裂斑岩型铅锌矿石,少量角岩型铅锌矿石。

矿石金属矿物主要为磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及黄铁矿,脉石矿物主要为斜长石、石英、绢云母、绿帘石、绿泥石、方解石等。矿石结构主要为自形—半自形粒状、压碎等结构,矿石构造主要有块状构造、脉状构造、浸染状构造。

## 2.4 围岩蚀变及矿化

卓玛复式中酸性斑岩体具一定的“面型”蚀变分带特点<sup>[7]</sup>。岩体中心部位的石英二长斑岩内部表现为强硅化,形成硅化核;边部表现为硅化、绢云母化,形成绢英岩化带,同时伴有黄铁矿化、铅锌铜矿化。岩体外缘石英闪长玢岩青磐岩化蚀变强烈,形成青

磐岩化带,片理化发育。靠近岩体的碎屑岩角岩化、矽卡岩化。

## 3 矿床地球化学

### 3.1 稀土元素地球化学

稀土元素由于其物理化学性质相似,在地质作用过程中常常作为一个整体迁移,但又表现出一定的差异性,因而在矿床学中被广泛应用于成矿物质来源和迁移的示踪研究<sup>[28-30]</sup>。笔者通过分析对比卓玛矿区非矿斑(玢)岩及 KT1 的碎裂石英二长斑岩铅锌矿石、脉状铅锌矿石的稀土元素的组成与分布,探讨稀土元素在斑岩体及矿石中的演化特征。测试工作在国家地质实验测试中心测试 ICP-MS 实验室完成,采用电感耦合等离子质谱法分析,误差低于 5%。

不含矿斑岩:本次研究共分析了 3 件样品的稀土元素,其中 ZM10、ZM12 为石英二长斑岩,ZM11 为石英闪长玢岩,稀土元素数据见表 1。由表 1 可知,石英闪长玢岩的  $\sum \text{REE}$  为  $108.26 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE 为 3.74,(Ce/Yb)<sub>N</sub> 为 7.72,属轻稀土富集型; $\delta \text{Eu}$  为 0.72,弱负 Eu 异常; $\delta \text{Ce}$  为 0.92,弱负铈异常;稀土配分曲线呈略显右倾形(图 2)。石英二长斑岩的  $\sum \text{REE}$  为  $93.18 \times 10^{-6} \sim 102.37 \times 10^{-6}$ ,低于石英闪长玢岩,LREE/HREE 为 4.32~5.39,(Ce/Yb)<sub>N</sub> 为 8.54~10.60,属轻稀土富集型; $\delta \text{Eu}$  为 0.47~0.66,中等负 Eu 异常; $\delta \text{Ce}$  为 0.88~0.92,弱负铈异常;稀土配分曲线呈略显右倾形(图 2)。

矿区南部普朗铜矿的花岗闪长斑岩  $\sum \text{REE}$  变化于  $99.92 \times 10^{-6} \sim 131.6 \times 10^{-6}$ ,平均  $109.08 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE 为 4.48<sup>[9]</sup>,稀土配分曲线亦为略显右倾形,稀土含量及配分曲线与矿区非常相似,表明二者可能同源。

碎裂石英二长斑岩铅锌矿石:本次研究共分析了 2 件样品,分别是 ZM02、ZM09,样品 Pb、Zn、Cu 平均含量分别为 1.15%、2.14%、0.022%。稀土元素数据见表 1, $\sum \text{REE}$  为  $97.23 \times 10^{-6} \sim 106.97 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE 为 5.39,(Ce/Yb)<sub>N</sub> 为 6.35~10.11,属轻稀土富集型; $\delta \text{Eu}$  为 0.43~0.66,中等负铈异常; $\delta \text{Ce} = 0.91 \sim 0.93$ ,弱负铈异常;稀土配分曲线呈略显右倾形(图 2)。

脉状铅锌矿石:本次研究共分析了 3 件样品,

① 云南省地质调查院. 云南中甸地区铜多金属矿评价报告[R]. 2012.

表 1 卓玛铅锌矿斑岩及矿石稀土元素含量(10<sup>-6</sup>)

Table 1 REE analytical results of porphyry and ores in the Zhuoma lead-zinc deposit (10<sup>-6</sup>)

样号	脉状 铅锌矿石	碎裂石英二长 斑岩铅锌矿石	脉状铅锌矿石		碎裂石英二长 斑岩铅锌矿石	石英 二长斑岩	石英闪 长玢岩	石英 二长斑岩
	ZM01	ZM02	ZM03	ZM04	ZM09	ZM10	ZM11	ZM12
La	6.7	19.3	3.23	2.83	23	25	22.3	21
Ce	10.1	36.8	5.48	4.36	39.4	41.3	40.2	36.9
Pr	1.24	4.11	0.73	0.48	3.78	4.11	4.16	3.6
Nd	4.78	15.8	3.02	1.72	12.6	13.6	15.2	11.9
Sm	0.84	3.11	0.67	0.24	2.01	2.04	2.86	1.84
Eu	0.61	0.44	0.5	0.21	0.44	0.31	0.7	0.41
Gd	1.05	3.1	0.95	0.48	1.99	1.93	3.03	1.98
Tb	0.15	0.49	0.14	0.06	0.28	0.29	0.39	0.29
Dy	0.95	2.83	0.88	0.37	1.62	1.6	2.2	1.69
Ho	0.21	0.56	0.17	0.09	0.34	0.31	0.47	0.35
Er	0.66	1.68	0.49	0.24	1	0.97	1.34	1.07
Tm	0.1	0.25	0.06	0.05	0.15	0.14	0.18	0.16
Yb	0.71	1.46	0.37	0.2	1.01	1.01	1.35	1.12
Lu	0.12	0.24	0.05	0.05	0.17	0.16	0.18	0.17
Y	5.69	16.8	6.14	2.81	9.44	9.6	13.7	10.7
ΣREE	33.91	106.97	22.88	14.19	97.23	102.37	108.26	93.18
LREE/HREE	2.52	2.9	1.47	2.26	5.08	5.39	3.74	4.32
(La/Yb) <sub>N</sub>	6.38	8.93	5.9	9.56	15.39	16.73	11.16	12.67
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	3.69	6.53	3.84	5.65	10.11	10.6	7.72	8.54
δ Eu	1.98	0.43	1.91	1.85	0.67	0.47	0.72	0.65
δ Ce	0.77	0.93	0.81	0.81	0.91	0.88	0.92	0.92

注:测试工作在国家地质实验测试中心完成。

分别是 ZM01、ZM03、ZM04, 样品 Pb、Zn、Cu 平均含量分别为 11.23%、10.65%、1.80%。该类矿石的 ΣREE 为 14.19×10<sup>-6</sup>~33.91×10<sup>-6</sup>, 明显低于非矿斑岩及碎裂石英二长斑岩矿石;(Ce/Yb)<sub>N</sub> 为 8.54~10.60, 属轻稀土富集型;LREE/HREE 为 1.47~2.52, (Ce/Yb)<sub>N</sub> 为 3.69~5.65, 属轻稀土富集型;δ Eu=1.85~1.984, 正铕异常, 区别于非矿斑岩及碎裂石英二长斑岩矿石的负铕异常;δ Ce=0.77~0.81, 弱负铈异常;稀土配分曲线呈略显右倾形(图 2)。

### 3.2 矿石硫、铅同位素地球化学

硫、铅同位素是示踪成矿物质来源的一种有效手段。矿区用于进行硫和铅同位素测试的样品是从矿区 KT1 矿体脉状矿石中分离出的方铅矿。硫、铅同位素的测试工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

矿石方铅矿硫同位素分析结果见表 2。矿区方铅矿的 δ<sup>34</sup>S 介于-0.01‰~-2.90‰, 平均-1.35‰, 硫同位素组成变化范围窄, 在幔源硫 δ<sup>34</sup>S 值范围内<sup>[32]</sup>, 矿石中方铅矿的硫为幔源岩浆硫, 位于同一岩浆岩带

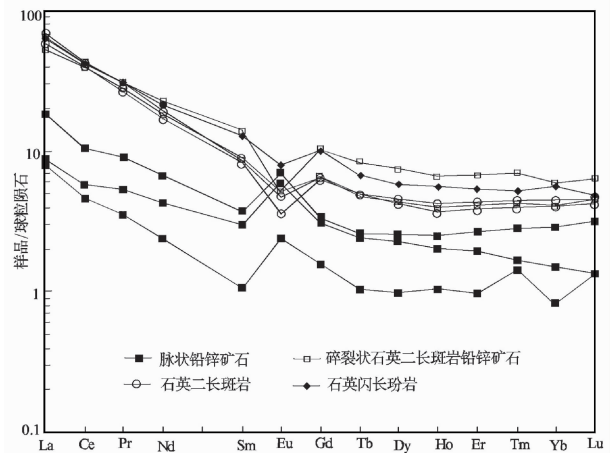


图 2 卓玛铅锌矿斑岩及矿石球粒陨石标准化稀土元素配分图 (球粒陨石数据引自文献[31])

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of porphyry and ores in the Zhuoma lead-zinc deposit (chondrite data after Reference[31])

普朗铜矿的矿石硫化物 δ<sup>34</sup>S 介于-2.2‰~3.8‰, 硫同位素主要来源于上地幔<sup>[33]</sup>, 表明中甸岛弧与印支期中酸性侵入岩有关的铅锌矿、铜矿的硫主要来源

表 2 卓玛铅锌矿硫同位素组成分析结果

Table 2 Sulfur isotope composition of sulfides in the Zhuoma lead-zinc deposit

样号	测试矿物	样品特征	$\delta^{34}\text{S}/\%$
ZM04	方铅矿	铅锌矿石	- 0.01
ZMTW01-1	方铅矿	铅锌矿石	- 0.30
ZMTW01-2	方铅矿	铅锌矿石	- 1.43
ZMTW02-1	方铅矿	铅锌矿石	- 2.11
ZMTW02-2	方铅矿	铅锌矿石	- 2.90

注:测试工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

于上地幔或下地壳的深源岩浆。

矿石铅同位素分析结果见表 3。铅同位素变化范围: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.0959~18.1119,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.6118~15.6191,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.2515~38.2918, 在

硫化物矿物的铅同位素组成图解(图 3)上,样品点均投在造山带铅同位素平均演化曲线上,在铅同位素  $\Delta\beta-\Delta\gamma$  成因分类图解(图 4)中,样品点均落入上地壳与地幔混合的俯冲带铅(岩浆作用)区域内。矿区南部普朗铜矿矿石铅同位素  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.004~18.769,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.563~15.773,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.585~39.654, 铅同位素主要集中于造山带演化线一侧以及下地壳<sup>[19]</sup>, 其组成及特征与本矿区矿石铅同位素相似, 表明中甸岛弧与印支期中酸性侵入岩有关的铅锌矿、铜矿的矿石铅主要来自造山环境, 源区属于以幔源铅为主的壳幔混合源, 这也证明成矿过程中可能有壳源物质的加入。

### 4 矿床成因探讨

#### 4.1 卓玛复式中酸性斑岩体对矿化的控制

野外观察和室内研究表明, 卓玛复式中酸性斑

表 3 卓玛铅锌矿铅同位素组成分析结果

Table 3 Lead isotope compositions of galena in the Zhuoma lead-zinc deposit

样号	测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$2\sigma$	$\mu$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
ZMTW01-1	方铅矿	18.0959	0.001	15.6118	0.0004	38.2515	0.0004	9.52	18.78	27.75
ZMTW01-2	方铅矿	18.0998	0.0011	15.6144	0.0004	38.2624	0.0004	9.53	18.95	28.04
ZMTW02-1	方铅矿	18.1119	0.0007	15.6191	0.0003	38.2918	0.0003	9.54	19.26	28.83
ZMTW02-2	方铅矿	18.0988	0.0008	15.6144	0.0003	38.2635	0.0003	9.53	18.95	28.07

注:测试工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。

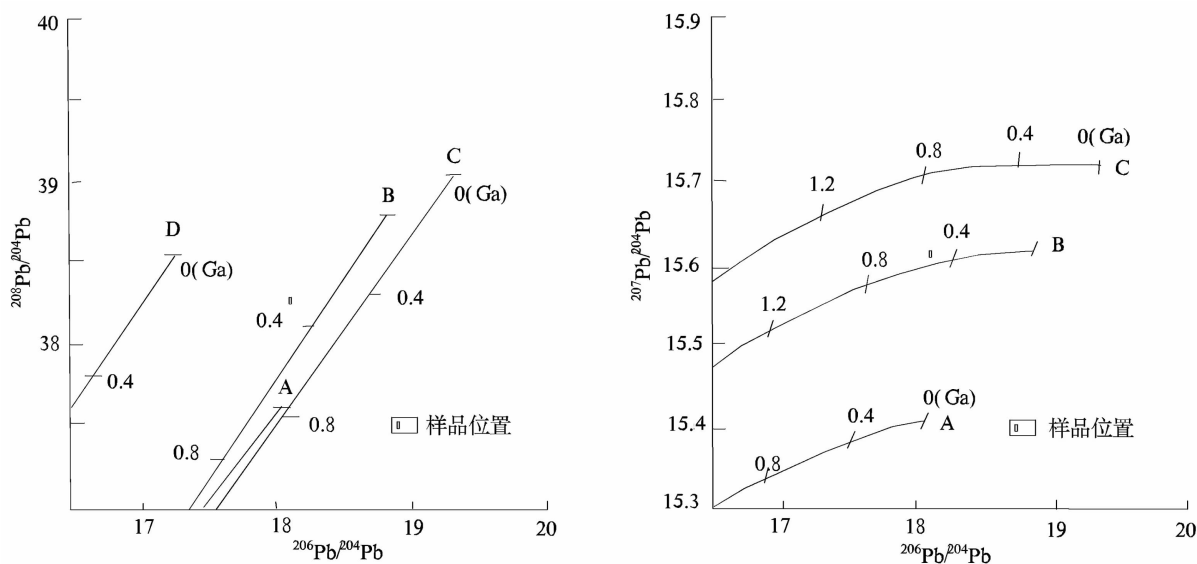


图 3 卓玛铅锌矿方铅矿铅同位素组成图解(底图据文献[34])

铅同位素平均演化曲线:A—地幔; B—造山带; C—上地壳; D—下地壳

Fig.3 Lead isotopic composition diagram of galena in the Zhuoma lead-zinc deposit (base map after Reference[34])

Pb isotopic evolution average trend:A—Mantle; B—Orogenic belt; C—Upper crust; D—Lower crust

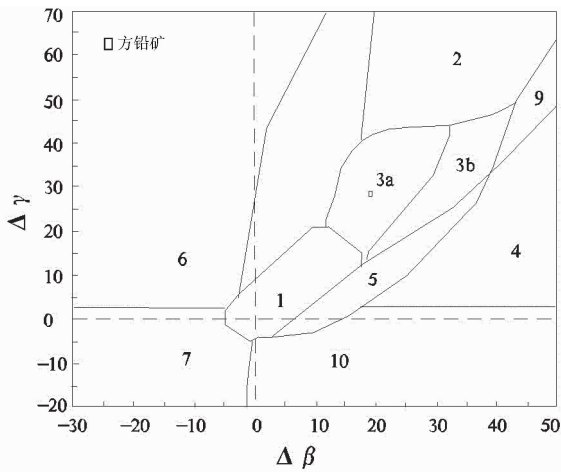


图 4 卓玛铅锌矿铅同位素  $\Delta\beta-\Delta\gamma$  成因分类图解  
(底图据文献[35])

1—地幔源铅;2—上地壳铅;3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅  
(3a—岩浆作用;3b—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

Fig.4  $\Delta\beta-\Delta\gamma$  genetic classification diagram of lead isotope of  
intrusions in the Zhuoma lead-zinc deposit (base map after  
Reference[35])

1—Lead of mantle source; 2—Lead of the upper crust; 3—Lead of the  
mixed upper crust-mantle subduction (3a- Magmatism; 3b-  
Sedimentation); 4—Lead of chemical deposition; 5—Lead of  
hydrothermal sedimentation; 6—Lead of medium-deep  
metamorphism; 7—Lead of deep metamorphic crust; 8—Lead of  
orogenic belt; 9—Lead of oldest crust shale; 10—Lead of degeneration

岩体具一定的“面型”蚀变分带特点,岩体中心部位的石英二长斑岩内部为硅化核,边部为绢英岩化带,岩体外缘石英闪长玢岩为青磐岩化带,矿体产于绢英岩化断裂破碎带中。该岩体微量元素含量与世界花岗岩平均值(维诺格拉多夫,1962)相比,成矿元素 Pb、Zn、Cu 的平均富集系数分别为 2.69、1.40、2.05, Pb、Zn、Cu 均为相对富集,表明矿区矿化与卓玛复式中酸性斑岩体有密切的成因联系。

#### 4.2 断裂构造的控矿作用

中甸地区 NW 向构造十分发育,表现为 NW 向断裂及 NW 向褶皱对岩浆活动起着重要的控制作用,为控岩构造。矿区 NW 断裂为区域性 NW 向深大断裂的次级构造,矿区已发现的矿体均受该组断裂控制,为矿区的导矿、容矿构造。

#### 4.3 成矿物质来源

蚀变岩石的稀土元素组成特征主要受原岩稀土元素组成、热液稀土元素浓度及组成、蚀变岩石的矿

物成分及其形成的物理化学条件等因素控制<sup>[34,36]</sup>。Alderton 等 (1980)<sup>[37]</sup>认为,热液蚀变的基本特点是使岩石稀土含量降低,负 Eu 异常通常呈现随矿化作用增强而增强的演化趋势,王守旭等(2007)<sup>[12]</sup>对普朗铜矿无/弱矿化斑岩及含矿斑岩的稀土元素进行研究得出了相似的结论,即无矿化斑岩→弱矿化斑岩→矿化斑岩,随着矿化的增强,岩石稀土含量逐渐降低,负 Eu 异常“V”型谷由不明显→明显→深“V”型谷。卓玛铅锌矿非矿斑岩与矿石的稀土元素特征对比表明,稀土配分曲线表现出的较好的相似性,表明矿石与斑岩同源;脉状矿石稀土总量明显低于破碎石英二长斑岩矿石及非矿斑岩,其原因是矿石受到后期岩浆热交代引起;成矿斑岩叠加有后期构造岩浆热液事件,脉状矿石含斜长石,而斜长石 Eu 的分配系数远远大于其矿物,致使脉状矿石 Eu 正异常。

根据硫、铅同位素分析,矿区硫主要来源于上地幔或下地壳的深源岩浆,矿石铅来源于地幔和部分地壳混熔作用形成的岩浆。中甸地区印支期中酸性斑岩属 I 型花岗岩<sup>[18]</sup>,岩浆为地幔和部分地壳的混熔作用形成<sup>[18,19,38,39]</sup>,卓玛复式中酸性斑岩体为中甸地区印支期中酸性斑岩带的组成部分,进一步说明成矿物质来源于卓玛复式中酸性斑岩体。

综上所述,卓玛复式斑岩体虽具有“斑岩型”蚀变分带特征,但矿体主要产于断层破碎带,且断层破碎带之外的斑岩体基本不含矿,早期形成的斑岩可能起到了矿化预富集作用。主成矿作用发生在岩浆演化晚期,岩浆分异出的成矿流体在热动力驱使下沿断层破碎带及节理裂隙对流循环,通过不断与早期形成的斑岩发生交代反应造成硅化、绢云母化等热液蚀变,活化斑岩早期预富集的成矿物质。最后在屏蔽较好的断裂内,在还原富硫的条件下,随着温度、压力的降低,成矿物质沉淀、充填形成脉状金属硫化物矿床。矿床成因类型应为中低温热液充填-交代型矿床。表明中甸地区在印支晚期主要形成斑岩型铜多金属矿床之外,还存在与印支期斑岩有关的受断裂破碎带控制的岩浆热液铅锌矿化。

## 5 结论

(1)卓玛铅锌矿体产于北西向的断层破碎带内,该断层破碎带是矿区的控矿及容矿构造。

(2)卓玛铅锌矿非矿斑岩与矿石的稀土元素地球化学特征相似,矿床的硫主要来源于上地幔或下地

壳的深源岩浆,铅源为以幔源铅为主的壳幔混合源,与矿区斑岩的岩浆同源,成矿物质来源于卓玛复式中酸性斑岩体。

(3)卓玛铅锌矿的形成过程经历了斑岩分异结晶作用的预富集,岩浆演化晚期,分异出成矿流体在热动力驱使下沿断层破碎带及节理裂隙对流循环、充填-交代成矿。

(4)中甸地区在印支晚期主要形成斑岩型、矽卡岩型铜多金属矿床之外,还存在与印支期斑岩有关的受断裂破碎带控制的岩浆热液铅锌矿化,拓宽了中甸地区的找矿思路。

**致谢:**野外工作过程中得到了云南省地质调查院张世权教授高级工程师、董涛工程师的帮助,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并向他们表示诚挚的感谢。

### 参考文献(References):

- [1] 曾普胜,莫宣学,喻学惠,等.滇西北中甸地区中酸性斑岩及其含矿性初步研究[J].地球学报,1999,20(增刊):359-336.  
Zeng Pusheng, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. Preliminary research on the intermediate acidic porphyries and their ore bearing in Zhongdian area, Northwest Yunnan [J]. Acta Geoscientia Sinica, 20(Supp.): 1999, 359-366(in Chinese).
- [2] 曾普胜,莫宣学,喻学惠,等.滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J].矿床地质,2003,20(4):393-400.  
Zeng Pusheng, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, Northwest Yunnan[J]. Mineral Deposits, 2003, 20 (4): 393-400 (in Chinese with English abstract).
- [3] 曾普胜,侯增谦,李丽辉,等.滇西北普朗斑岩铜矿床成矿时代及其意义[J].地质通报,2004,23(11):1127-1131.  
Zeng Pusheng, Hou Zengqian, Li Lihui, et al. Age of the Pulang porphyry copper deposit in NW Yunnan and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (11): 1127-1131(in Chinese with English abstract).
- [4] 曾普胜,李文昌,王海平,等.云南普朗印支期超大型斑岩铜矿:岩石学及年代学特征[J].岩石学报,2006,22(4):990-1000.  
Zeng Pusheng, Li Wenchang, Wang Haiping, et al. The Indosinian Pulang superlarge porphyry copper deposit in Yunnan, China: Petrology and chronology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4): 990-1000(in Chinese with English abstract).
- [5] 杨岳清,侯增谦,黄典豪,等.中甸弧碰撞造山作用与岩浆成矿系统[J].地球学报,2002,23(1):17-24.  
Yang Yueqing, Hou Zengqian, Huang Dianhao, et al. Collision orogenic process and metallogenic system in Zhongdian arc [J]. Acta

- Geoscientia Sinica, 2002, 23 (1): 17-24 (in Chinese with English abstract).
- [6] 侯增谦,吕庆田,安建,等.初论陆-陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例[J].矿床地质,2003,22(4):320-329.  
Hou Zengqian, Lv Qingtian, An Jian, et al. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen [J]. Mineral Deposits, 2003, 22(4): 320-329(in Chinese with English abstract).
- [7] 侯增谦.斑岩 Cu-Mo-Au 矿床:新认识与新进展 [J]. 地学前缘,2004,11(1):132-139.  
Hou Zengqian. Porphyry Cu-Mo-Au deposits: Some new insight and advances [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (1): 132-139(in Chinese with English abstract).
- [8] 范玉华,李文昌.云南普朗斑岩铜矿床地质特征 [J]. 中国地质,2006,33(2):352-361.  
Fan Yuhua, Li Wenchang. Geological characteristics of the Pulang porphyry copper deposit, Yunnan [J]. Geology in China, 2006, 33 (2): 352-361(in Chinese with English abstract).
- [9] 林清茶,夏斌,张玉泉.云南中甸地区雪鸡坪同碰撞石英闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义 [J]. 地质通报,2006,25 (1/2): 133-135.  
Ling Qincha, Xia Bin, Zhang Yuquan. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the syn-collisional Xuejiping quartz diorite porphyrite in Zhongdian, Yunnan, China, and its geological implications [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (1/2): 133-135 (in Chinese with English abstract).
- [10] 徐兴旺,蔡新平,屈文俊,等.滇西北红山晚白垩世花岗岩斑岩 Cu-Mo 成矿系统及其大地构造学意义 [J]. 地质学报,2006,80 (9): 1422-1433.  
Xu Xingwang, Cai Xinping, Qu Wenjun, et al. Later Cretaceous granitic porphyritic Cu-Mo mineralization system in the Hongshan area, northwestern Yunnan and its significances for tectonics [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (9): 1422-1433 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李健康,李文昌,王登红,等.中甸弧燕山晚期成矿事件的 Re-Os 定年及成矿规律研究[J].岩石学报,2007,23(10):2415-2422.  
Li Jiankang, Li Wenchang, Wang Denghong, et al. Re-Os dating for ore-forming event in the late of Yanshan Epoch and research of ore-forming regularity in Zhongdian arc [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (10): 2415-2422 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王守旭,张兴春,冷成彪,等.滇西北中甸普朗斑岩铜矿床地球化学与成矿机理初探[J].矿床地质,2007,26(3):277-288.  
Wang Shouxu, Zhang Xingchun, Leng Chengbiao, et al. A tentative study of ore geochemistry and ore-forming mechanism of Pulang porphyry copper deposit in Zhongdian, northwestern

- Yunnan [J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26 (3): 277-288 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王守旭, 张兴春, 冷成彪, 等. 滇西北普朗斑岩铜矿锆石离子探针 U-Pb 年龄成矿时限及地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(10): 2313-2321.
- Wang Shouxu, Zhang Xingchun, Leng Chengbiao, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Pulang porphyry copper deposit, northwestern Yunnan, China: The ore-forming time limitation and geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (10): 2313-2321 (in Chinese with English abstract).
- [14] 冷成彪, 张兴春, 王守旭, 等. 云南中甸地区两个斑岩铜矿容矿斑岩的地球化学特征——以雪鸡坪和普朗斑岩铜矿床为例[J]. *矿物学报*, 2007, 27(3/4): 414-422.
- Leng Chengbiao, Zhang Xingchun, Wang Shouxu, et al. Geochemical characteristics of porphyry copper deposits in the Zhongdian area, Yunnan as exemplified by the Xuejiping and Pulang porphyry copper deposits[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2007, 27(3/4): 414-422 (in Chinese with English abstract).
- [15] 冷成彪, 张兴春, 王守旭, 等. 滇西北中甸松诺含矿斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(1): 124-130.
- Leng Chengbiao, Zhang Xingchun, Wang Shouxu, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Songnuo ore-hosting porphyry, Zhongdian, northwest Yunnan, China and its geological implication [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32 (1): 124-130 (in Chinese with English abstract).
- [16] 曹殿华, 王安建, 黄玉凤, 等. 中甸孤雪鸡坪斑岩铜矿含矿斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及 Hf 同位素特征 [J]. *地质学报*, 2009, 83(10): 1430-1435.
- Cao Dianhua, Wang Anjian, Huang Yufeng, et al. SHRIMP geochronology and Hf isotope composition of zircons from Xuejiping porphyry copper deposit, Yunnan Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83 (10): 1430-1435 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李文昌, 尹光侯, 刘学龙, 等. 中甸普朗复式斑岩体演化及  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素依据[J]. *地质学报*, 2009, 83(10): 1421-1429.
- Li Wenchang, Yin Guanghou, Liu Xuelong, et al. The evolution and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotopic evidence of the Pulang complex in Zhongdian [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(10): 1421-1429 (in Chinese with English abstract).
- [18] 李文昌, 尹光侯, 余海军, 等. 滇西北格咱火山-岩浆弧斑岩成矿作用[J]. *岩石学报*, 2011, 27(9): 2541-2552.
- Li Wenchang, Yin Guanghou, Yu Haijun, et al. The porphyry metallogenesis of Geza volcanic magmatic arc in NW Yunnan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27 (9): 2541-2552 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李文昌, 刘学龙, 曾普胜, 等. 云南普朗斑岩型铜矿成矿岩体的基本特征[J]. *中国地质*, 2011, 38(2): 403-414.
- Li Wenchang, Liu Xuelong, Zeng Pusheng, et al. The characteristics of metallogenic rocks in the Pulang porphyry copper deposit of Yunnan Province [J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 403-414 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王守旭, 张兴春, 冷成彪, 等. 中甸红山砂卡岩铜矿稳定同位素特征及其对成矿过程的指示[J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 480-488.
- Wang Shouxu, Zhang Xingchun, Leng Chengbiao, et al. Stable isotopic compositions of the Hongshan skarn copper deposit in the Zhongdian area and its implication for the copper mineralization process [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (3): 480-488 (in Chinese with English abstract).
- [21] 邹顺坤, 张志平. 香格里拉红牛铜多金属矿成矿模式及深部找矿[J]. *云南地质*, 2010, 29(3): 299-303.
- Zou Shunkun, Zhang Zhiping. The metallogenesis model and deep prospecting of Hongniu Copper polymetallic deposit, Xianggelila [J]. *Yunnan Geology*, 2010, 29(3): 299-303 (in Chinese with English abstract).
- [22] 彭惠娟, 张长青, 周云满, 等. 云南省中甸红牛铜矿床地质地球化学特征[J]. *中国地质*, 2012, 39(6): 1743-1758.
- Peng Huijuan, Zhang Changqing, Zhou Yunman, et al. Geological and geochemical characteristics of the Hongniu copper deposit in Zhongdian area, northeastern Yunnan Province [J]. *Geology in China*, 2012, 39 (6): 1743-1758 (in Chinese with English abstract).
- [23] 刘学龙, 李文昌, 尹光侯. 云南格咱岛弧斑岩-砂卡岩铜、钼(金)矿床成矿系统[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 1007-1022.
- Liu Xuelong, Lie Wenchang, Yin Guanghou. The metallogenic system of porphyry-skarn type Cu, Mo (Au) polymetallic deposits in Geza island arc of Yunnan Province [J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 1007-1022 (in Chinese with English abstract).
- [24] 金灿海, 范文玉, 张珂, 等. 中甸浪都铜矿区二长斑岩锆石微量元素组成、U-Pb 年龄及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2013, 37(2): 262-272.
- Jin Canhai, Fan Wenyu, Zhang Yu, et al. Trace element compositions and U-Pb ages of zircons in monzonite porphyry from Langdu copper deposit in Zhongdian and their geological significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2013, 37(2): 262-272 (in Chinese with English abstract).
- [25] 李冰, 张世权, 胡清华, 等. 香格里拉卓玛铜铅锌多金属矿特征与资源潜力[J]. *云南地质*, 2012, 31(3): 331-334.
- Li Bing, Zhang Shiquan, Hu Qinghua, et al. The characteristics and potentiality of Zhuoma Cu-Pb-Zn multimetallic deposit, Xianggelila [J]. *Yunnan Geology*, 2012, 31(3): 331-334 (in Chinese with English abstract).



- [26] 庞振山, 杜杨松, 王功文, 等. 云南普朗复式岩体锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2009, 25 (1) : 159-165.  
Pang Zhenshan, Du Yangsong, Wang Gongwen, et al. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages, geochemistry and its implication of the Pulang complex in Yunnan Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 159-165 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张世权. 中甸亚杂铅锌银矿找矿标志及远景 [J]. 云南地质, 2010, 29(1), 36-40.  
Zhang Shiquan. The Prospecting criteria and potentiality of Yaza Pb-Zn deposit of Zhongdian [J]. Yunnan Geology, 2010, 29(1): 36-40 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-535.  
Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua. The Rare Earth Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1989: 1-535 (in Chinese).
- [29] 李新俊, 刘伟. 东天山马庄山金矿床流体包裹体和同位素地球化学研究及其对矿成因的制约 [J]. 岩石学报, 2002, 18 (4) : 551-558.  
Li Xinjun, Liu Wei. Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of Mazhuangshan gold deposit in eastern Tianshan Mountain of China [J]. Acta petrologica Sinica, 2002, 18(4): 551-558 (in Chinese with English abstract).
- [30] 连建国, 史维全, 门树宁, 等. 山东省平度市大庄子金矿流体包裹体研究 [J]. 地质与勘探, 2005, 41(1): 28-32.  
Lian Jianguo, Shi Weiquan, Men Shuning, et al. Fluid inclusions in the Dazhuangzi gold deposit in Pingdu County, Shandong [J]. Geology and Prospecting, 2005, 41 (1): 28-32 (in Chinese with English abstract).
- [31] Taylor S R, Mclennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. New York: Wiley-Heyden, 1985: 1-312.
- [32] Chaussidon M, Lorand J P. Sulfur isotope composition of orogenic spinel lherzolite massifs from Ariege (North-Eastern Pyrenees, France): An ion microprobe study [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54: 2835-2846.
- [33] 尹静, 邱文龙, 胡清华. 云南中甸普朗斑岩铜矿成因探讨 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2010, 33(3): 219-230.  
Yin Jing, Qiu Wenlong, Hu Qinghua. The genesis in Yunnan of Zhongdian Pulang porphyry copper deposit [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2010, 33(3): 219-230 (in Chinese with English abstract).
- [34] Doe B R, Zartman R E. Plumbotectonics: The Phanerozoic in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. New York: Wiley-Interscience, 1979: 22-70.
- [35] 朱炳泉, 李献华, 戴檀谟. 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]. 北京: 科学出版社, 1998: 216-235.  
Zhu Binqun, Li Xianhua, Dai Tongmo. The Theory and Application of Isotope System and the Discussions of China Crust and Mantle [M]. Beijing: Science Press, 1998, 216-235 (in Chinese).
- [36] 刘志远, 金成洙, 王荣湖, 等. 江西金山金矿床稀土元素地球化学特征及意义 [J]. 地质与资源, 2005, 14(1): 13-16.  
Liu Zhiyuan, Jin Chenzhu, Wang Ronghu, et al. Rare earth element geochemistry characteristics and significance of Jinshan gold deposit, Jiangxi [J]. Geology and Resources, 2005, 14(1): 13-16 (in Chinese with English abstract).
- [37] Alderton D H M, Pearce J A, Potts P J. Rare earth element mobility during granite alteration: Evidence from Southwest England [J]. Earth & Planet. Sci. Lett., 1980, 49: 149-165.
- [38] 潘长云. “三江”地区花岗岩铅同位素特征 [J]. 云南地质, 1992, 11(1): 1-8.  
Pan Changyun. Characteristics of lead isotope composition of granites in “Three Rivers” area [J]. Yunnan Geology, 1992, 11(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [39] 董毅, 刘显凡, 邓江红, 等. 中甸弧西斑岩带印支期中酸性侵入岩成因与成矿意义 [J]. 中国地质, 2012, 39(4): 887-899.  
Dong Yi, Liu Xianfan, Deng Jianghong, et al. Genesis and metallogenic significance of the Indosinian intermediate-acidic intrusive rocks in the west porphyry belt, Zhongdian island arc, Yunnan [J]. Geology in China, 2012, 39(4): 887-899 (in Chinese with English abstract).

## Geochemical characteristics and genesis of the Zhuoma lead–zinc deposit in Yunnan Province

JIN Can–hai, FAN Wen–yu, ZHANG Hai, SHEN Zhan–wu, ZHANG Yu, GAO Jian–hua

(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** The Zhuoma lead–zinc deposit is located in the southern segment of the Indosinian Yidun–Zhongdian island–arc belt. The ore body occurs in the Indosinian quartz monzonite porphyry and is controlled by faulted zones. Studies of REE of non–ore porphyry (porphyrite), fragmentation–porphyry ore, vein ore and sulfur and lead isotopes of ore galena show that REE geochemical characteristics of porphyry (porphyrite) and ores are similar to each other, and ores and porphyry (porphyrite) were from the same source. Galena  $\delta^{34}\text{S}$  values range from  $-0.01$  to  $-2.90\%$ , indicating that sulfur was derived from the mantle, lead isotopic ratios of  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vary from 18.0959 to 18.1119,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  from 15.6118 to 15.6191, and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  from 38.2515 to 38.2918, suggesting that lead of ores was derived from an orogenic environment, with the source area belonging to mixed crust–mantle source dominated by mantle lead. Lead–zinc mineralization in the ore district was closely related to the late Indosinian Zhuoma duplex porphyry (porphyrite), and the ore deposit belongs to magmatic hydrothermal filling metasomatic type controlled by fractures.

**Key words:** Zhuoma lead–zinc deposit; geochemistry; genesis of the ore deposit; Yunnan

---

**About the first author:** JIN Can–hai, male, born in 1965, senior engineer, mainly engages in the study of regional metallogenic regularity; E–mail: jcanhai@cgs.cn.