

滇西羊拉铜矿床稳定同位素地球化学研究

潘家永^{1,2} 张乾¹ 马东升² 李朝阳¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002;
2. 南京大学 地球科学系 内生金属矿床成矿作用机制国家重点实验室, 南京 210008)

P618.41
P597.2

摘要: 滇西羊拉铜矿是近年来发现的大型铜矿床。作者系统地研究了该矿床的 S、Pb、C、O、Si 同位素组成, 研究表明该矿床不同矿石的硫同位素组成变化范围一致, 其平均值靠近零值且具有塔式分布特征, 表明硫来源于上地幔或岩浆作用; 该矿床矿石中方解石的 C、O 同位素组成与矿区大理岩的 C、O 同位素组成明显不同, 其 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 为 -3.27% ~ -4.89% , 与上地幔射气及岩浆作用形成的 CO_2 的碳同位素组成一致, 因此矿石中方解石中碳亦来源于上地幔射气或岩浆作用; 铅同位素特征表明早期热水沉积形成的块状硫化物矿石铅主要来源于上地壳, 而中晚期形成的夕卡岩型矿石及蚀变破碎带型矿石的铅具有上地幔铅的特征。

关键词: 稳定同位素; 羊拉铜矿; 滇西

中图分类号: P597+.2

文章编号: 1000-4734(2000)04-0385-05

作者简介: 潘家永, 男, 1967 年生, 副研究员, 博士, 现为南京大学地球科学系博士后, 从事矿床地球化学研究。

铜矿床, 地球化学, 硫同位素, 铅同位素
文献标识码: A

1 矿床地质概况

羊拉矿床处于“三江”中段中咱地块与江达—维西火山弧之间的金沙江结合带中部, 是近年来发现且正在勘探的大型铜多金属矿床。矿区出露的地层为由碎屑岩、碳酸盐岩、变质中基性和基性火山岩组成的嘎金雪山群, 为一套巨厚的洋盆沉积物, 其铀—铅 U-Pb 年龄为 $296.1 \times 10^6 \pm 7 \times 10^6$ ~ $361.6 \times 10^6 \pm 8.5 \times 10^6 \text{a}^{[1]}$ 。区内断裂构造发育, 其南北向的金沙江断裂与羊拉断裂控制了该区岩浆岩的分布。区内侵入岩主要为印支期中酸性的花岗闪长岩, 其成岩年龄为 208×10^6 ~ $227 \times 10^6 \text{a}^{[1]}$ (图 1)。魏君奇等^[1]、何龙清等^[2]、战明国等^[3]、路远发等^[4]对羊拉矿床地层、构造、岩浆岩及成矿作用开展了较系统的研究。研究表明: 羊拉矿床主要的成矿作用为海底火山喷流沉积作用。潘家永^[5]对羊拉铜矿床的系统地质地球化学特征研究发现: 该矿床产有三种不同类型的铜矿石, 分别代表三个不同的成矿期。成矿早期(I)为产在嘎金雪山群火山—沉积碎屑岩中浸染状与块状硫化物矿石, 代表海底火山喷流沉积作

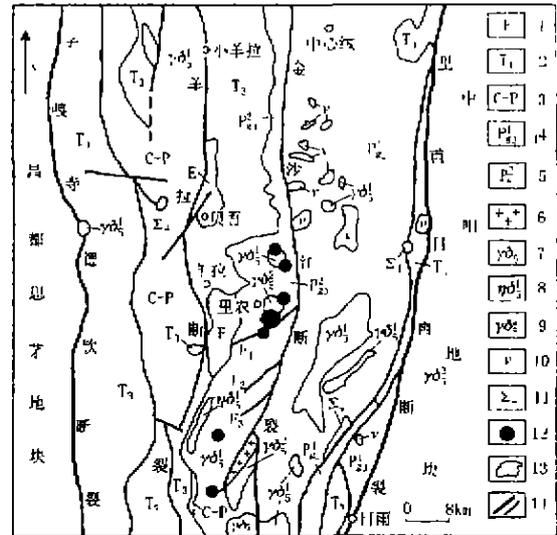


图 1 滇西羊拉铜矿区区域地质简图

(据 1:20 万地质图, 部分修改)

Fig. 1. Geological map of the Yangla copper deposit in western Yunnan.

- 1. 下第三系 2. 上三叠系 3. 石炭—二叠系 4. 嘎金雪山群上段 5. 嘎金雪山群下段 6. 混合岩 7. 花岗闪长岩 8. 二长花岗岩 9. 花岗斑岩 10. 辉长岩 11. 超基性岩 12. 铜矿床(点) 13. 地质界限 14. 断层

收稿日期: 2000-05-30

基金项目: 国家重点基础发展规划(G1999043208)项目; 中国科学院重点(KZ952-S1-407)项目

用的产物, 为该矿床最主要的成矿作用; 成矿中期

(II)为产在火山岩、砂质板岩与大理岩接触带的夕卡岩矿石,代表夕卡岩成矿作用的产物;成矿晚期(III)为产在花岗闪长岩断裂破碎带中矿石,代表岩浆期后热液作用的产物。

2 硫同位素特征

羊拉矿床主要矿石矿物是黄铜矿与黄铁矿,不同成矿期的黄铁矿与黄铜矿硫同位素组成具有以下特征(表1):①所有3个成矿期黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值均大于相应成矿期黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,如成矿早期黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为0.25‰~0.3‰,平均0.27‰,黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为-0.95‰~-0.66‰,平均-0.79‰;成矿中期黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为1.79‰~1.85‰,平均1.82‰,黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为-3.16‰~-0.96‰,平均-1.18‰;成矿晚期黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为-0.78‰~-1.58‰,平均-0.4‰,黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为-2.23‰~-0.87‰,平均-1.55‰。②不同成

矿期硫化物硫同位素组成变化范围及平均值都相近,如成矿早期 $\delta^{34}\text{S}$ 为-0.95‰~0.3‰,平均-0.44‰;成矿中期 $\delta^{34}\text{S}$ 为-3.16‰~1.85‰,平均-0.58‰;成矿晚期 $\delta^{34}\text{S}$ 为-2.23‰~1.58‰,平均-0.58‰。这表明不同成矿阶段硫的来源是一致的。③矿床36个硫化物的硫同位素组成变化范围很小, $\delta^{34}\text{S}$ 为-3.16‰~1.85‰,极差仅为5.01‰,表明该矿床硫具有很均一的来源。④由于该矿床主要含硫矿物为黄铁矿、黄铜矿等硫化物,很少见到硫酸盐矿物,且该矿床硫化物硫同位素组成具有很窄的变化范围,因此硫化物的硫同位素组成变化范围及平均值基本上能够代表成矿流体的硫同位素组成^[6]。该矿床3个成矿阶段硫的同位素组成都靠近零值,且具有明显的塔式分布特征(图2),显示硫很可能来源于上地幔或者岩浆作用。

表1 羊拉矿床硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotopic composition of the Yangla deposit

成矿期	测试矿物	样号	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	成矿期	测试矿物	样号	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
成矿早期(I)	黄铁矿	yn-126-1	0.27	成矿中期(II)	黄铜矿	yn-58b-2	-0.56
		yn-126-2	0.25			yn-58b-3	-0.50
		yn-126-3	0.30			yn-65-1	-3.16
		变化范围	0.25~0.30			yn-65-2	-3.14
	平均	0.27	yn-65-3		-3.13		
	黄铁矿	yn-60-1	-0.66		变化范围	-3.16~-0.96	
		yn-60-2	-0.68		平均	-1.18	
		yn-60-3	-0.70		变化范围	-3.16~1.85	
		yn-19-1	-0.86		平均	-0.58	
		yn-19-2	-0.90		黄铁矿	yn-56a-1	-0.78
yn-19-3		-0.95	yn-56a-2	-0.74			
变化范围	-0.95~-0.66	yn-56a-3	-0.70				
平均	-0.79	yn-108-1	1.48				
变化范围	-0.95~0.30	yn-108-2	1.53				
总平均	-0.44	yn-108-3	1.58				
成矿中期(II)	黄铁矿	yn-47-1	1.79	变化范围	-3.16~1.85		
		yn-47-2	1.82	平均	0.40		
		yn-47-3	1.85	成矿晚期(III)	yn-20-1	-2.21	
		变化范围	1.79~1.85		yn-20-2	-2.20	
	平均	1.82	yn-20-3		-2.23		
	黄铜矿	yn-37-1	-2.11		yn-29-1	-0.90	
		yn-37-2	-1.88		yn-29-2	-0.89	
		yn-37-3	-1.95		yn-29-3	-0.87	
		yn-71-1	0.92	变化范围	-2.23~-0.87		
	yn-71-2	0.94	平均	-1.55			
yn-71-3	0.96	变化范围	-2.23~1.58				
yn-58b-1	-0.60	总平均	-0.58				

测试者:中国科学院地球化学研究所冯家毅,耿龙年

3 铅同位素特征

3.1 岩石铅

嘎金雪山群火山-沉积建造是羊拉矿床的赋

矿围岩,主要由板岩、砂岩、硅质岩及安山岩、玄武岩等火山碎屑岩组成,由于各类岩石中U、Th含量均较低(一般小于 5×10^6 , ICP-MS分析结果),不同岩石中的铅同位素组成基本代表成岩时岩石

中

2000

的铅同位素组成。该套地层不同岩性的铅同位素组成变化较大,硅质岩($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 三组铅同位素组成为 18.297, 15.575, 38.302),玄武岩(三组铅同位素组成为 18.269, 15.47, 38.264)与大理岩(三组铅同位素

组成为 18.423, 15.554, 38.255)的铅同位素组成较低;而板岩(三组铅同位素组成为 18.911 ~ 19.014, 15.625 ~ 15.754, 39.149 ~ 39.348)与安山岩(三组铅同位素组成为 18.882, 15.700, 39.094)中明显富集放射性成因铅(表 2)。

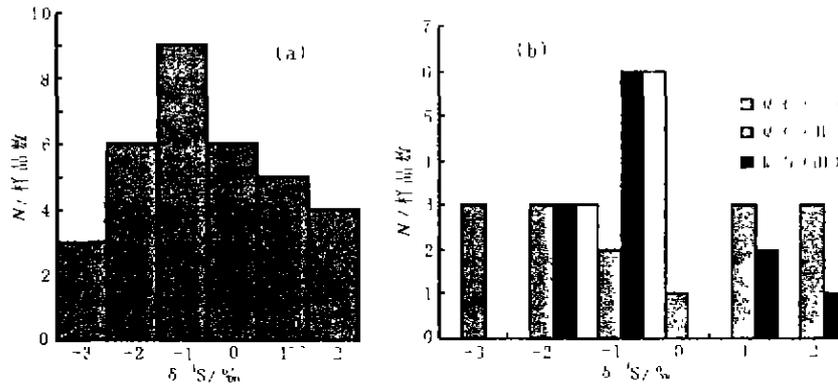


图 2 羊拉矿床硫同位素组成直方图

Fig 2. Histogram of sulfur isotopes from the Yangla deposit.

(a) 硫同位素组成总图 (b) 不同成矿阶段硫同位素组成图

表 2 羊拉矿床铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic composition of the Yangla copper deposit

样品名称	样号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$t_2/10^6\text{a}$	μ_2	样品名称	样号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$t_2/10^6\text{a}$	μ_2
硅质岩	ym-2b	18.297	15.575	38.302	0.18	9.68		1	18.277	15.627	38.454	0.32	9.98
板岩	ym-120	19.014	15.754	39.348	0.03	10.33	黄铜矿(I)*	2	18.313	15.677	38.602	0.29	10.17
	ym-141	18.911	15.625	39.149	-0.18	9.78		3	18.369	15.680	38.611	0.35	10.15
大理岩	ym-122	18.423	15.554	38.255	0.04	9.57	4	18.31b	15.675	38.574	0.34	10.17	
安山岩	ym-117	18.882	15.700	39.094	0.02	10.13	黄铜矿(II)	ym-37	18.112	15.450	37.998	0.06	9.2
玄武岩	ym-133	18.269	15.470	38.264	-0.02	9.25	ym-47-1	18.150	15.506	38.177	0.15	9.42	
花岗闪长岩	长石*	18.393	15.615	38.652	0.2	9.88	磁黄铁矿(II)	ym-47-2	18.133	15.498	38.037	0.18	9.43
	长石*	18.368	15.673	38.712	0.34	10.13	黄铁矿(II)	ym-71	18.221	15.519	38.190	0.12	9.48
	ym-140	18.461	15.610	38.889	0.15	9.84	黄铜矿(III)	ym-58	18.205	15.541	38.178	0.19	9.58
	平均	18.407	15.633	38.751	0.23	9.94	ym-65	17.985	15.434	38.358	0.12	9.16	
黄铁矿(I)	ym-19	18.249	15.622	38.435	0.33	9.94	黄铁矿(III)	ym-56a	18.023	15.436	37.833	0.1	9.1c
黄铜矿(I)	ym-60	18.300	15.638	38.459	0.33	10.01	ym-20	18.256	15.500	38.334	0.25	9.77	

注: * 引自云南地质 3 队, 云南德钦县羊拉铜矿普查中性地质报告, 1997。其余为本文数据; 测试者: 中科院地化所志建华, t_2 与 μ_2 为 Stacey-Kramers 的两阶段演化所计算的年龄及 μ 值, 计算方法见 Stacey and Kramers⁷¹

该区广泛发育花岗闪长岩, 其三组铅同位素组成分别为 18.393 ~ 18.467, 15.610 ~ 15.675, 38.652 ~ 38.889, 并且长石与全岩铅同位素组成基本一致, 其 Stacey-Kramers 的两阶段演化模式年龄为 $150 \times 10^6 \sim 340 \times 10^6\text{a}$, 平均 $250 \times 10^6\text{a}$, 与岩体的 Rb-Sr 法年龄 ($208 \cdot 10^6 \sim 227 \cdot 10^6\text{a}$) 相似, 这表明花岗闪长岩中铅为正常铅, 符合 Stacey-Kramers 的两阶段演化模式。

3.2 矿石铅

该矿床不同成矿阶段的矿石具有不同的铅同位素组成。早期热水沉积型(I)矿石的 3 组铅同位素组成分别为 18.277 ~ 18.369, 15.622 ~

15.680, 38.435 ~ 38.611; 夕卡岩型(II)矿石的三组铅同位素组成分别为 17.985 ~ 18.221, 15.434 ~ 15.519, 37.998 ~ 38.358; 晚期热液充填-交代型(III)矿石的三组铅同位素组成为 18.023 ~ 18.256, 15.436 ~ 15.590, 37.833 ~ 38.334。显然矿石(I)的铅同位素组成明显比矿石(II)与矿石(III)的高, 而矿石(II)与矿石(III)的铅同位素组成变化范围基本一致。

3.3 铅的来源探讨

该矿床主要赋矿地层嘎金雪山群不同岩石的铅同位素组成变化很大, 说明铅的来源不一致。

在 Zartman 铅构造模式图上,板岩、安山岩样品点落在上地壳曲线附近,反映其铅具有壳源特征;玄武岩落在上地幔曲线附近,反映其铅具有幔源特征;而大理岩、硅质岩落在造山带附近,其铅可能为混合铅。

矿石铅的 Stacey-Kramers 两阶段演化模式年龄都为正值,其中矿石(Ⅰ)的 Stacey-Kramers 两阶段模式年龄为 $320 \times 10^6 \sim 390 \times 10^6$ a, 平均 350×10^6 a; 矿石(Ⅱ)的 Stacey-Kramers 两阶段模式年龄为 $60 \times 10^6 \sim 190 \times 10^6$ a, 平均 140×10^6 a; 矿石(Ⅲ)的 Stacey-Kramers 两阶段模式年龄为 $100 \times 10^6 \sim 250 \times 10^6$ a, 平均 175×10^6 a。矿石(Ⅰ)的 Stacey-Kramers 两阶段模式年龄与嘎金雪山群玄武岩中锆石的 U-Pb 年龄($296.1 \times 10^6 \pm 7 \times 10^6 \sim 361.6 \times 10^6 \pm 8.5 \times 10^6$ a)一致,而矿石(Ⅱ)与矿石(Ⅲ)的 Stacey-Kramers 两阶段模式年龄比岩体的 Rb-Sr 法年龄($208 \times 10^6 \sim 227 \times 10^6$ a)小,这是符合地质事实的,因为夕卡岩矿化与热液充填-交代作用都应晚于花岗岩闪岩的形成。这也充分说明该矿床矿石铅是正常铅,符合 Stacey-Kramers 的两阶段演化模式。

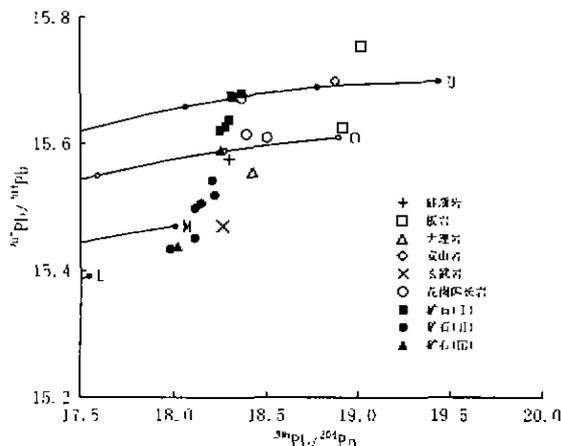


图 3 羊拉矿床岩石、矿石矿物铅同位素构造模式

Fig. 3. Lead isotopic composition of rocks and ore minerals from the Yangla deposit.

U. 上地壳 O. 造山带 M. 上地幔 L. 下地壳

矿石(Ⅰ)的铅同位素组成在 Zartman 铅构造模式图上(图 3),样品点都落在上地壳附近及上地壳与造山带之间,表明早期热水沉积作用形成的矿石铅主要来源于上地壳;而矿石(Ⅱ)与矿石(Ⅲ)的铅同位素组成在 Zartman 铅构造模式图上(图 3),样品点主要落在上地幔附近及上地幔与造山带之间,表明这两期成矿作用带来了深部

的幔源铅。

4 碳、氧、硅同位素组成

羊拉矿床大理岩的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 为 $3.60\text{‰} \sim 4.21\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 为 $-11.01\text{‰} \sim -11.03\text{‰}$; 矿石中方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 为 $-3.27\text{‰} \sim -4.89\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 为 $-19.63\text{‰} \sim -18.94\text{‰}$, 羊拉矿床矿石中方解石与该区嘎金雪山群大理岩碳氧同位素组成明显不同,这反映矿石中碳、氧不大可能来源于大理岩。

成矿热液中的碳主要有 3 种可能来源:①地幔射气或岩浆来源。地幔射气和岩浆来源的碳同位素组成具有一致的特征,其 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 变化范围为 $-9\text{‰} \sim -3\text{‰}$ [8]。②沉积岩中碳酸盐岩的脱气或含盐卤水与泥质岩相互作用。这种来源的碳同位素组成具有重碳同位素特征,其 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 变化范围为 $-2\text{‰} \sim +2\text{‰}$, 海相碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 大多稳定在 0‰ 左右 [9]。③各种岩石中的有机碳。有机碳一般富集 ^{12}C , 因而碳同位素组成很低,其 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 变化范围为 $-30\text{‰} \sim -10\text{‰}$, 平均 -22‰ [6]。

羊拉矿床矿石中方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 为 $-3.27\text{‰} \sim -4.89\text{‰}$, 与地幔射气和岩浆来源的碳同位素组成具有一致的特征,表明矿石中方解石的碳是地幔射气作用或岩浆作用来源。

不同来源的硅有不同的同位素组成,低温水中自生沉积石英的硅同位素组成 ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$) 为 $1.1\text{‰} \sim 1.4\text{‰}$, 热水来源硅质岩 $\delta^{30}\text{Si}$ 值较小,为 $-1.5\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$, 成岩过程中次生石英的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值介于二者之间,交代成因的硅质岩为 $2.4\text{‰} \sim 3.4\text{‰}$ [10,11]。羊拉矿床硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 $-0.4\text{‰} \sim -0.1\text{‰}$, 位于热水来源的硅质岩范围,并与云南墨江金矿热水沉积含金硅质岩硅同位素组成 ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 为 $-0.1\text{‰} \sim -0.2\text{‰}$) 的变化范围一致 [12]; 也与热水沉积硅华的硅同位素组成 ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 为 $-0.1\text{‰} \sim -0.5\text{‰}$) 一致 [13]。

羊拉矿区硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ (‰) 为 $-0.1 \sim -0.4$, 石英脉的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ (‰) 为 $-0.1 \sim -0.3$; 显然它们具有非常一致的特征,显示了矿区硅质岩与石英脉中硅的来源一致,也反映了硅质岩与成矿的密切关系。

据丁梯平等 [13] 研究表明,陨石的硅同位素组成 ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$) 为 $-0.1\text{‰} \sim -0.4\text{‰}$, 与该区硅质岩与石英脉的硅同位素组成完全一致,这暗示着

该矿床硅质岩与石英脉的硅可能来源于上地幔。

5 结 论

S、Pb、C、O、Si 同位素研究表明:硫来源于上地幔或岩浆作用;矿石中方解石的 C、O 同位素组成与矿区大理岩的 C、O 同位素组成明显不同,矿石中方解石中碳亦来源于上地幔射气或岩浆作

用;中晚期形成的夕卡岩型矿石及破碎蚀变带型矿石的铅具有上地幔铅的特征;矿区硅质岩与石英脉中的硅可能来源于上地幔。

地质地球化学研究表明,羊拉矿床经历了3期成矿作用:即早期晚古生代热水沉积作用与中晚期中生代岩浆热变质作用及热液充填-交代作用。

参 考 文 献

- [1] 魏君奇,战明国,路远发,等. 滇西德钦羊拉矿区花岗岩类地球化学[J]. 华南地质与矿产,1997(4):50~56
- [2] 何龙清,战明国,路远发. 滇西羊拉铜矿床矿区层序地层划分及赋矿层位研究[J]. 华南地质与矿产,1998(3):37~41
- [3] 战明国,路远发,陈式房,等. 滇西北羊拉大型铜矿床形成条件及其成因类型[J]. 矿床地质,1988,17(增刊):183~186
- [4] 路远发,陈开旭,战明国,等. 羊拉地区含矿夕卡岩成因的地球化学证据[J]. 地球科学,1999,24(3):298~303.
- [5] 潘家永,张 乾,李朝阳. 滇西羊拉铜矿床稀土元素地球化学研究[J]. 矿物学报,2000,20(1):44~49.
- [6] Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits[J]. *Econ. Geol.*, 1972, 67:551~578
- [7] Zartman R E and Doe B R. Plumbotecton—the model [J]. *Tectonophysics*, 1981, 75: 135~162.
- [8] Taylor B E. Magmatic volatiles: Isotope variation of C, H and S [J]. *Stable isotopes in high temperature geological processes, Reviews in Mineralogy*, 1986, 16: 185~226.
- [9] Veizer J, et al. Correlation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ secular variation[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1980, 44: 579
- [10] Clayton R N. High temperature isotope effects in the early solar system[C]. Rona P A, et al. eds. *Hydrothermal Process at Sea Floor Spreading Centers* [M], 1983, 537~570.
- [11] Douthitt C B. The geochemistry of the stable isotopes of the silicon[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1982, 16:129~139
- [12] 应汉龙,蔡新平,刘秉光. 云南墨江金矿床含金硅质岩的地球化学特征和成因[J]. 地球化学,1999,28(4):307~317
- [13] 丁梯平,万德芳,李金城,等. 硅同位素测量方法研究[C]. 稳定同位素分析方法研究进展,北京:北京科技出版社,1992,1~8.

STABLE ISOTOPE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE YANGLA COPPER DEPOSIT IN WESTERN YUNNAN PROVINCE

Pan Jiayong^{1,2} Zhang Qian² Ma Dongsheng¹ Li Chaoyang²

(1 Geosciences Department, Nanjing University, Nanjing 210093

2 Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 50002;)

Abstract: The Yangla copper deposit is a large-scale copper deposit which was discovered in recent years in western Yunnan Province. The authors systematically studied the geochemical characteristics of S, C, O, Si stable isotopes and concluded: (1) Different rocks and ores have the same S isotopic composition, whose values are close to zero and exhibit a tower-shaped distribution. This shows that S may come from the upper mantle or be derived from magmatism. (2) The C and O isotopic compositions of calcites in ore are different from those of marble in the ore field. The C isotopic compositions range from -3.27‰ ~ -4.89‰ , which are similar to the C isotopic compositions of the upper mantle and magmatism. So C in ore might come from the upper mantle or magmatism. (3) Pb isotopic compositions show that the lead of massive sulfide ore, which was formed at the early period, is mainly from the upper crust; and that the lead in the skarn-type and filled-replaced-type ores, which were formed in the middle and late periods are mainly from the upper mantle.

Key words: stable isotope; Yangla copper deposit; western Yunnan Province