

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

广西北山层控闪锌矿-黄铁矿矿床的稳定同位素地球化学研究

陈好寿 吕 红

石焕琪 王香成

(中国地质科学院宜昌地质矿产研究所) (广西地质矿产局地质七队, 柳江县(拉堡))

根据铅同位素提供的信息, 铅金属的主要来源是古陆和下伏基底岩石, 其次来自泥盆系本身或当时的海水。以上地壳铅为主, 少数为下地壳铅或上地幔铅。硫主要来自海水硫酸盐的细菌还原作用。碳酸盐岩石、矿物的碳、氧同位素分析结果证实, 北山地区的碳酸盐岩属正常海水沉积相。其同位素特征, 介于粤北和湘中之间, 更接近湘中盆地。北山矿床的形成, 经历了沉积-成岩矿化和成岩后富集改造成矿两个阶段。

广西北山闪锌矿-黄铁矿矿床是一个以硫和锌为主, 伴生银、镉、铅、锗的硫化物矿床。它兼有华南地区产于泥盆系碳酸盐岩中层控铅-锌矿床和层控黄铁矿矿床的主要地质特征, 是研究层控矿床和层控理论的典型矿床。

在前人工作的基础上, 我们系统采集了北山矿床及外围某些矿床(点)的硫化物及碳酸盐岩样品, 进行了铅、硫、碳、氧等稳定同位素的测定和综合研究, 详细讨论了各种同位素的分布特征、来源及形成环境。指出了矿床的形成过程和找矿方向。

区域地质背景及矿床特征

矿床位于扬子准地台的东南缘, 在华南后加里东的准地台上, 处于“江南地轴”南端西南缘褶皱断束的西北端。

北山地区大片出露泥盆系和石炭系。它的北部和东部是江南古陆, 出露地层为元古界四堡群、板溪群、震旦系和寒武系。西北角及西南隅有二叠系出露。

加里东运动结束了本区地槽阶段, 形成了本区构造基底。以北北东或北东向为主及北西西或北西向为次的两组断裂组成棋盘式构造格局。本区北部和东部由于长期遭受剥蚀, 加上古北北东向断裂的存在, 使剥蚀区边缘有很多指状突起向南伸入海盆, 形成指状海湾, 构成一系列隆起和洼塘。在此基础上开始了本区泥盆系的沉积。

在早泥盆世的早、中期, 本区大部分还属于剥蚀区, 直到早泥盆世晚期, 自南而北的海侵波及到此, 才接受沉积。到中泥盆世东岗岭期, 海进进一步扩大。在东岗岭早期, 本区可分为两个大相区: 滨海和浅海; 三个相带: 驯乐潮坪、上甫半局限台地和环江开阔台地。本矿床位于上朝水下隆起的西南端东南侧, 处于上甫半局限台地和环江开阔台地交接带上的开阔台地一侧。

本区岩浆活动微弱, 仅在离矿床 40km 外的东南角有小的燕山-印支期的花岗斑岩侵入和燕山期云煌岩岩筒、岩脉贯入。

北山矿床产于东岗岭组的上部 (D_2d^2) 和桂林组 (D_3g) 下部, 礁灰岩与泥质岩、泥灰岩盖层之间的中-粗晶白云岩层中(图 1)。矿体呈似层状、透镜状。

矿石矿物组成比较简单。金属矿物主要有黄铁矿、闪锌矿, 少量方铅矿, 个别矿体有菱铁矿、褐铁矿; 脉石矿物主要为白云石, 微量方解石、绢云母、碳质沥青等。矿物期次可分为准同生(同生)期(成岩期)、成岩后(热液改造)期。围岩蚀变较弱, 主要为白云岩化和重晶石化。

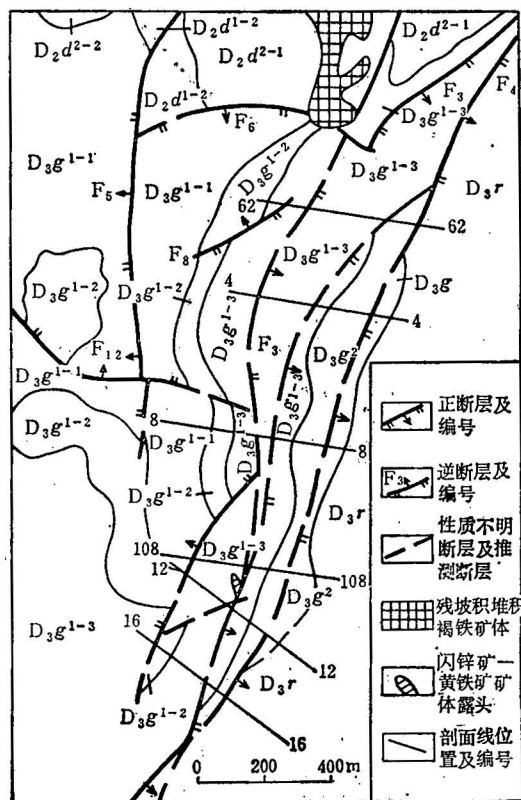


图 1 北山闪锌矿-黄铁矿矿床地质图

Fig. 1 Geological map of the Beishan zincblende-pyrite deposit

D_3r 融县组; D_3g^2 桂林组上段; D_3g^{1-3} 桂林组下段第三层; D_3g^{1-2} 桂林组下段第二层; D_3g^{1-1} 桂林组下段第一层; D_2d^{2-2} 东岗岭组上段第二层; D_2d^{2-1} 东岗岭上段第一层; D_2d^{1-2} 东岗岭组下段第二层

稳定同位素地球化学研究

(一) 铅同位素

共测定铅同位素数据 61 个, 其中北山矿床 52 个, 矿床外围 9 个。

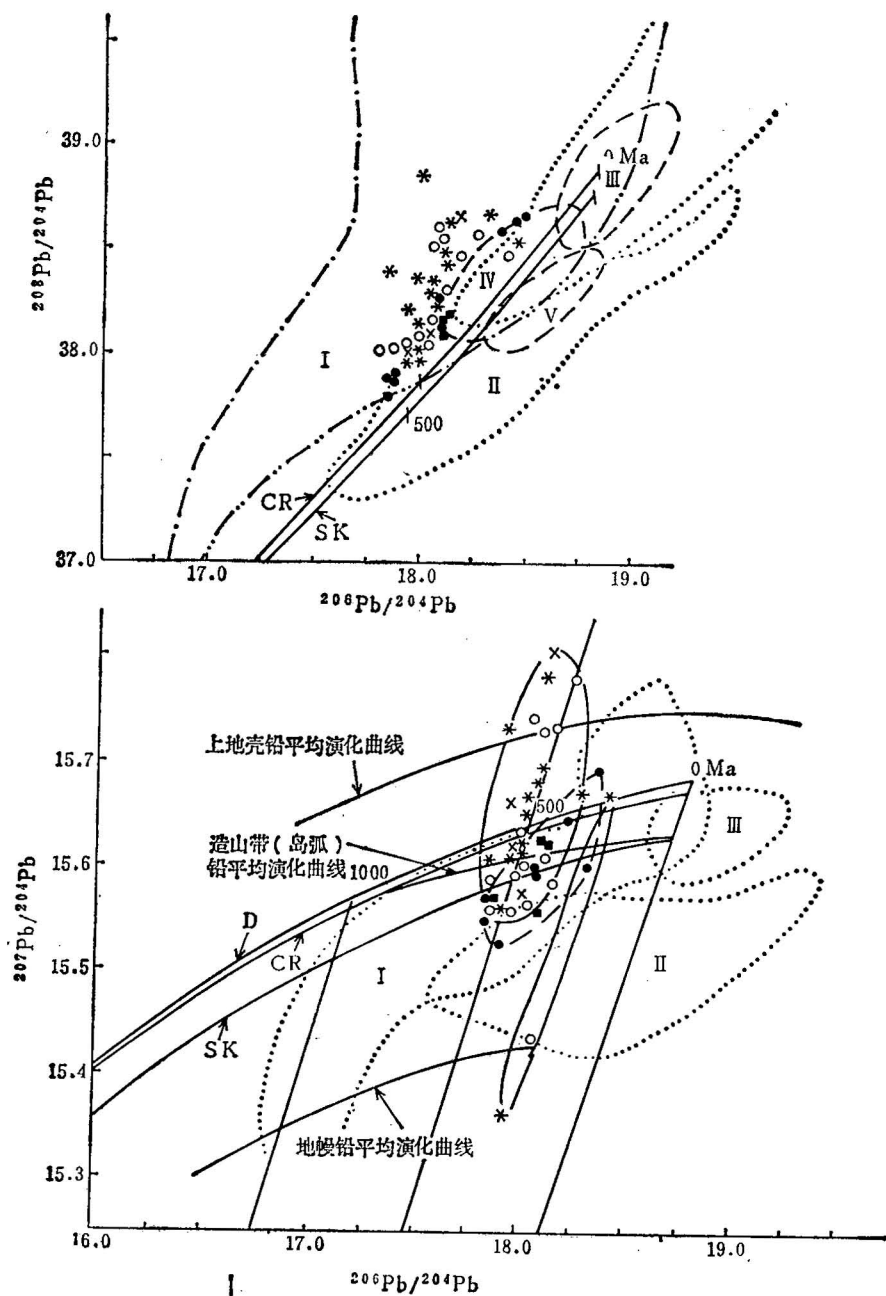


图 2 北山矿床的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 坐标图

Fig. 2 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ plots for the Beishan deposit
 ○ 方铅矿; ■ 围岩; × 闪锌矿; ● 外圈; * 黄铁矿; I. 克拉通化地壳铅; II. 大洋火山岩铅; III. 深海沉积物铅; IV. 成熟岛弧铅; V. 原始岛弧铅; VI. 非克拉通化地壳铅;
 CR “v” 值线性增加演化曲线; SK 两阶段演化曲线; D Doc 单阶段演化曲线

表1 北山矿床铅同位素组成、模式年龄及源区特征值
Table 1 Lead isotopic composition, model age and characteristic values
of provenance in the Beishan deposit

样品号	样品名称	采样位置	铅同位素组成			模式年龄		源区特征计算值*					
			$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	ϕ 值	年龄值 (Ma)	μ	V	ω	K_1	K_2	K_3
20-1	方铅矿	ZK6203, 272.5m II号矿体	18.103	15.727	38.541	0.61775	535	9.76	0.0718	39.96	3.96	594.70	4.10
20-2	方铅矿	ZK6203, 272.5m II号矿体	17.844	15.558	37.998	0.61662	524	9.45	0.069	37.47	3.84	546.77	3.97
35-1	方铅矿	ZK6207, 277.5m II号矿体	18.075	15.581	38.176	0.60301	387	9.47	0.069	37.12	3.80	540.70	3.92
35-2	闪锌矿	ZK6207, 277.5m II号矿体	17.957	15.575	38.036	0.61056	464	9.47	0.069	37.14	3.80	540.76	3.92
36-1	方铅矿	ZK6207, 280.7m II号矿体	17.979	15.588	38.055	0.61042	463	9.49	0.069	37.21	3.79	540.62	3.92
36-2	闪锌矿	ZK6207, 280.7m II号矿体	17.978	15.592	38.052	0.61092	464	9.50	0.069	37.24	3.79	540.55	3.92
36-3	黄铁矿	ZK6207, 280.7m II号矿体	17.958	15.608	38.321	0.61427	501	9.53	0.069	38.69	3.93	559.52	4.06
37-1	方铅矿	ZK6207, 299.7m II号矿体	18.006	15.586	38.083	0.60833	441	9.48	0.069	37.16	3.79	540.25	3.92
38-1	方铅矿	ZK6207, 311.5m II号矿体	18.049	15.560	38.013	0.60239	380	9.43	0.068	36.37	3.73	532.03	3.86
38-2	黄铁矿	ZK6207, 311.5m II号矿体	18.084	15.711	38.465	0.61718	530	9.73	0.071	39.57	3.94	561.05	4.07
42-1	方铅矿	ZK6209, 418m II号矿体	18.145	15.728	38.440	0.61485	507	9.75	0.071	39.26	3.90	555.16	4.03
42-2	闪锌矿	ZK6209, 418m II号矿体	18.191	15.802	38.645	0.61995	557	9.89	0.072	40.61	3.97	565.94	4.10
42-3	黄铁矿	ZK6209, 418m II号矿体	18.024	15.624	38.134	0.61150	473	9.56	0.069	37.64	3.81	542.97	3.94
43-1	方铅矿	ZK6209, 423m II号矿体	18.034	15.621	38.180	0.61039	462	9.55	0.069	37.75	3.83	545.04	3.95
43-2	闪锌矿	ZK6209, 423m II号矿体	18.061	15.597	38.175	0.60566	414	9.50	0.069	37.33	3.80	541.97	3.93
43-3	黄铁矿	ZK6209, 423m II号矿体	18.065	15.649	38.278	0.61143	473	9.60	0.070	38.26	3.86	549.42	3.98
44-1	方铅矿	ZK6209, 442.7m II号矿体	18.044	15.640	38.255	0.61194	478	9.59	0.070	38.21	3.86	549.43	3.98
44-2	闪锌矿	ZK6209, 442.7m II号矿体	18.038	15.639	38.263	0.61219	480	9.59	0.070	38.26	3.86	550.31	3.99
44-3	黄铁矿	ZK6209, 442.7m II号矿体	18.109	15.682	38.234	0.61213	480	9.66	0.070	38.13	3.82	544.07	3.95
95	黄铁矿	三线孔道内 I号矿体	17.926	15.549	37.937	0.60968	455	9.42	0.068	36.64	3.76	536.29	3.89
58-1	方铅矿	ZK4011 297.2m, II号矿体	18.077	15.429	38.642	0.58552	197	9.16	0.067	37.58	3.97	565.48	4.10
25	黄铁矿	ZK4011 373.4m,方解石脉中	17.998	15.573	37.999	0.60737	432	9.41	0.069	36.72	3.76	535.26	3.88
28-1	方铅矿	ZK4011 394.7m,方解石脉中	17.992	15.566	38.063	0.60707	429	9.45	0.069	36.97	3.79	539.62	3.91
28-2	闪锌矿	ZK4011 394.7m,方解石脉中	18.170	15.631	38.352	0.60222	378	9.55	0.069	37.80	3.83	545.55	3.96
28-3	黄铁矿	ZK4011 394.7m,方解石脉中	17.951	15.562	38.109	0.60943	452	9.44	0.069	37.36	3.83	545.53	3.96
3	方铅矿	铁矿公路边 D_2d^2 灰岩中	17.886	15.544	37.825	0.62001	557	9.82	0.071	40.53	3.99	569.09	4.13
62	黄铁矿	一线水文孔 D_3q 灰岩中	17.960	15.730	38.840	0.61198	478	9.42	0.068	36.34	3.74	532.14	3.86
8312	黄铁矿		18.123	15.760	38.625	0.62827	636	9.78	0.071	42.23	4.18	595.18	4.32
58-2	黄铁矿	一线水文孔 D_3q 灰岩中	17.922	15.354	38.208	0.58735	218	9.03	0.066	35.95	3.85	548.82	3.98
40-2	闪锌矿	ZK803, 81.2m, I号矿体	18.032	15.651	38.257	0.61393	498	9.61	0.070	38.38	3.87	550.66	3.99
40-3	黄铁矿	ZK803, 81.2m, I号矿体	18.304	15.683	38.651	0.59893	344	9.64	0.070	38.78	3.89	554.79	4.02
47-1	方铅矿	ZK8M2, 72.1m I号矿体	17.988	15.621	38.126	0.61364	495	9.56	0.069	37.79	3.83	545.16	3.95
47-2	黄铁矿	ZK8M2, 72.1m I号矿体	18.448	15.667	38.546	0.58779	222	9.59	0.070	37.38	3.77	537.36	3.90
48-1	方铅矿	ZK8M2, 732m I号矿体	18.119	15.601	38.307	0.60225	379	9.50	0.069	37.61	3.83	545.92	3.96
48-2	黄铁矿	ZK8M2, 732m I号矿体	17.884	15.602	38.397	0.61886	546	9.53	0.069	39.42	4.00	570.14	4.14
49-1	方铅矿	ZK8M2, 75.1m I号矿体	17.943	15.547	37.975	0.60827	441	9.41	0.068	36.69	3.77	537.36	3.90
49-2	闪锌矿	ZK8M2, 75.1m I号矿体	17.994	15.660	38.016	0.61771	535	9.63	0.070	37.64	3.78	538.66	3.91
49-3	黄铁矿	ZK8M2, 75.1m I号矿体	18.057	15.667	38.271	0.61406	499	9.64	0.070	38.46	3.86	550.02	3.99
31-1	方铅矿	ZK1405, 148m, III号矿体	18.149	15.646	38.412	0.60528	410	9.53	0.070	38.82	3.87	551.23	4.00
31-2	闪锌矿	ZK1405, 148m, III号矿体	18.185	15.641	38.487	0.60230	379	9.57	0.069	38.38	3.88	552.88	4.01
31-3	黄铁矿	ZK1405, 148m, III号矿体	18.035	15.604	38.194	0.60837	442	9.52	0.069	37.64	3.83	545.45	3.96
32-1	方铅矿	ZK1405, 149m, III号矿体	18.024	15.571	38.132	0.60536	411	9.45	0.069	37.12	3.80	541.61	3.93
32-2	闪锌矿	ZK1405, 149m III号矿体	18.214	15.615	38.431	0.59744	328	9.52	0.069	37.73	3.84	546.63	3.96
33-1	方铅矿	ZK1405, 150m, III号矿体	18.105	15.689	38.358	0.61325	491	9.68	0.070	38.77	3.88	552.31	4.01
33-2	闪锌矿	ZK1405, 150m, III号矿体	17.969	15.591	38.062	0.61150	473	9.50	0.069	37.33	3.80	541.83	3.93
33-3	黄铁矿	ZK1405, 150m, III号矿体	17.951	15.558	38.007	0.60899	448	9.44	0.068	36.88	3.78	538.97	3.91
21-3	方铅矿	ZK1503, 85 回次, III号矿体	17.852	15.588	38.080	0.61949	552	9.51	0.069	38.07	3.88	552.07	4.00
22-3	方铅矿	ZK1901, 394m, III号矿体	18.279	15.771	38.535	0.61048	463	9.82	0.071	39.30	3.87	551.78	4.00

* $\mu = ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$, $V = ^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$, $\omega = ^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$, $K_1 = ^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, $K_2 = ^{232}\text{Th}/^{235}\text{U}$, $K_3 = \text{Th}/\text{U}$

1. 北山矿床的铅同位素特征

(1) 同位素组成的变化范围

总的来看,多数数据相对稳定、变化小,但部分数据仍有明显变化: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.844—18.448,多数在 17.990—18.100; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.354—15.771,多数在 15.540—15.650; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.825—38.840,多数在 38.000—38.200 (表 1, 图 2)。

(2) 模式年龄及源区特征值

根据测定的铅同位素组成,可以计算模式年龄和源区特征值。这些结果对于定量解释成矿时代、矿质来源及矿床成因具有重要意义。

模式年龄 本文采用最新参数^[1],用单阶段模式在计算机上直接计算年龄(表 1)²⁾。在图 2 中,计算结果还可以与 CR 线性增加模式^[2]、SK 两阶段演化模式^[3]和 Doe 的单阶段演化模式^[4]等演化曲线所指示的年龄进行对比。模式年龄明显分成三组:190—230Ma 和 300—400Ma 及 400—650Ma。大部分数据在 400—550Ma 间,老于围岩时代,部分数据与围岩时代一致。这就表明该矿床的铅主要来自寒武系或古陆上更老的地质体,部分来自

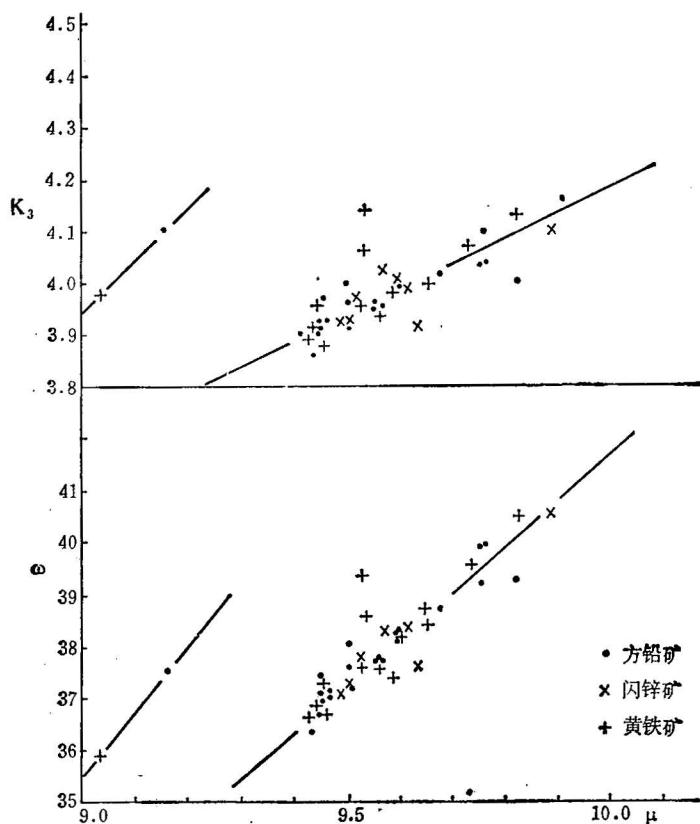


图 3 北山矿床的 ω , K_3 和 μ 值的相关性变化图
Fig. 3 Plot of K_3 and ω values vs. μ value in the Beishan deposit

1) 计算机程序由康乐编制。

泥盆系,少数更年轻的铅可能与海西—印支运动有关。

源区特征值 分别计算了源区的 μ 值、 V 值、 ω 值、 K_1 值、 K_2 值及 K_3 值(表 1)。通过对这些特征值的对比研究,可以进一步追索铅的来源及其源区的主要同位素特征^[5,6]。下面着重讨论 μ 值、 ω 值和 K_3 值。

北山矿床铅源区的 μ 值(V 值也一样)变化较大(9.0—9.9),且普遍较高,表明主要来自上地壳,少数 μ 值较低,可能来自下地壳或上地幔。大多数在 9.5—9.6 之间,正好在一般正常铅演化曲线的 μ 值范围内,是壳源铅与幔源铅混合的结果。从图 2 中也明显看出,大多数数据集中分布在正常铅演化曲线或岛弧铅(造山带铅)平均演化曲线附近,或在该曲线上方。部分数据落在上地壳铅平均演化曲线附近,表明主要来自上地壳源区。少数落在现代大洋火山岩区域内,显然来自上地幔或下地壳源区^[4]。因此,该矿床的铅是以壳源为主,壳、幔两来源铅不均匀混合的结果。

该矿床的 ω 值变化很大(35.3—42.3),也表明有多种来源,而且多数大于 37,落在 Doe 和 Stacey 演化曲线的左上方(图 2),同样说明主要来自上地壳。少数 ω 值小于 36.5,可能是来自下地壳或上地幔的。

源区的 K 值同样反映两来源混合的特征,特别是黄铁矿的 K 值变化较大,显然有不同的两个来源。图 3 是 K_3 (K_1 、 K_2 也一样)和 ω 值对 μ 值的相关图。从图中可以看出,它们之间具正相关变化,即在同一样品中 μ 值高时, K 值和 ω 值也高。

2. 围岩及外围矿床的铅同位素

(1) 围岩铅同位素组成及源区特征

测定了三个围岩的铅同位素组成,一个是桂林组纯灰岩,另两个是东岗岭组含碳泥质灰岩和白云岩。其同位素组成变化很小: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.006—18.087, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.578—15.620, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.092—38.244。模式年龄为 418—432Ma, 接近泥盆纪早期时代。计算的源区特征值变化也很小: $\mu = 9.47$ — 9.54 , $\omega = 37.12$ — 37.78 , $K_3 = 3.92$ — 3.96 (表 2)。

表 2 北山矿床围岩——碳酸盐岩石铅同位素组成、模式年龄及源区特征值
Table 2 Lead isotopic composition and model age and characteristic values of provenance of the lead from the country rocks—carbonate rocks—in the Beishan deposit

样品号	样品名称	采样位置	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	模式年龄		源区特征值					
						Φ 值	年龄值(Ma)	μ	V	ω	K_1	K_2	K_3
P63	纯灰岩	I 线水文孔 桂林组灰岩 (D_3g)	18.075	15.620	38.244	0.60743	432	9.54	0.0692	37.78	545.86	3.83	3.96
P54	含碳泥质灰岩	ZK4011, 273m 矿体顶部围岩 (D_2d^2)	18.006	15.578	38.092	0.60741	432	9.47	0.0687	37.12	540.61	3.79	3.92
P34	白云岩	ZK1405, 2011m 矿体顶部围岩 (D_2d^1)	18.087	15.615	38.239	0.60604	418	9.53	0.0691	37.64	544.47	3.82	3.95

以上结果表明,围岩的铅基本上是同源的,与铀、钍分离的时间也是差不多的。很可能是早泥盆世时从源区的 U-Th-Pb 体系中分离出来进入海水,在中、晚泥盆世沉积-成岩期进入该地层的。

(2) 外围某些矿床(点)的铅同位素组成

测定了 7 个矿床(点)的 9 个样品,这些矿床(点)的赋存层位不同,从 D_1 到 D_3 都有,其同位素组成有明显变化。总的看来,随地层层位变新,放射成因铅有增高的趋势: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 从 17.862 到 18.361, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 从 15.520 到 15.689, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 从 37.850 到 38.669 (表 3)。模式年龄从 227Ma 到 521Ma,但大多数年龄在 300—400Ma 范围内,与地层时代基本一致。与北山矿床一样,有明显从老地层来的铅,也有晚期改造作用带来的铅。

源区 μ 值为 9.3—9.7, K_2 值为 3.8—4.1, ω 值为 36.4—38.4, 变化在北山矿床范围内,与北山基本上是同源的。

表 3 北山矿床外围某些矿床(点)的铅同位素组成、模式年龄及源区特征值
Table 3 Lead isotopic composition and model age and characteristic values of provenance of the lead from some deposits (occurrences) in the surrounding areas of the Beishan deposit

样品号	样品名称	采样地点	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	模式年龄		源区特征值					
						Φ 值	年龄值 (Ma)	μ	V	ω	K_1	K_2	K_3
L ₇	闪锌矿	环江拉更铅-锌矿矿点 (D_2-D_3)	18.367	15.689	38.633	0.59548	307	9.64	0.0699	38.41	549.11	3.85	3.98
L ₆	方铅矿	环江拉更铅-锌矿矿点 (D_2-D_3)	18.006	15.613	38.162	0.61144	473	9.54	0.0692	37.76	545.84	3.83	3.96
F ₈	方铅矿	环江符山铅-锌矿矿点 (D_3r)	18.319	15.595	38.669	0.58823	227	9.46	0.0686	37.93	552.52	3.88	4.01
u ₁	闪锌矿	环江小文洞铅-锌矿矿床 (D_2d-D_3r)	18.060	15.587	38.239	0.60464	403	9.48	0.0687	37.52	545.85	3.83	3.96
T ₃	闪锌矿	环江上桐铅-锌矿矿点 (D_2d)	18.257	15.640	38.479	0.59739	327	9.56	0.0693	37.89	546.41	3.84	3.96
ω_2	方铅矿	环江万隆铅-锌矿矿床 (D_2d)	17.817	15.524	37.810	0.61457	504	9.38	0.0681	36.48	535.96	3.76	3.89
D ₅	闪锌矿	罗城下塘铅-锌矿矿点 (D_1s)	17.866	15.520	37.869	0.61056	464	9.37	0.0679	36.42	535.93	3.76	3.89
g-2	方铅矿	罗城下甲铅-锌黄铁矿矿点 (D_1s)	17.874	15.531	37.850	0.61134	472	9.39	0.0681	36.39	543.34	3.75	3.88
g-1	闪锌矿	罗城下甲铅-锌黄铁矿矿点 (D_1s)	17.862	15.567	37.931	0.61633	521	9.46	0.0686	37.15	541.23	3.80	3.93

(二) 硫同位素

新测定了硫同位素数据 69 个。其中,北山矿床 59 个,外围 10 个。分析数据均用相对于国际上通用的标准 CDT (迪亚布洛峡谷铁陨石之陨硫铁)的千分偏差表示。

1. 基本特征

硫同位素组成总的变化范围相当大,包括过去测定的 68 个数据¹⁾,其 $\delta^{34}\text{S}$ 在 -22.5 — $+20.9\text{‰}$ 之间。但不同地区、不同产状的硫化物,其同位素组成是不一样的。图 4 为新测数据的直方图。与过去测定的结果相比,基本上是一致的,只是在北山矿体中,我们获得了更低的值 (-11.5‰),在围岩中新测定的值更小。如北山矿体新测定值为 -11.5 — $+9.5\text{‰}$,过去测定值为 -9.3 — $+9.8\text{‰}$;过去测定围岩中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+5.8$ — $+20.9\text{‰}$,新测定值为 -14.7 — $+9.4\text{‰}$ 。总的来看,外围矿体比北山矿体更富集 ^{32}S ,围岩比矿体变化更大,详细对比如表 4。

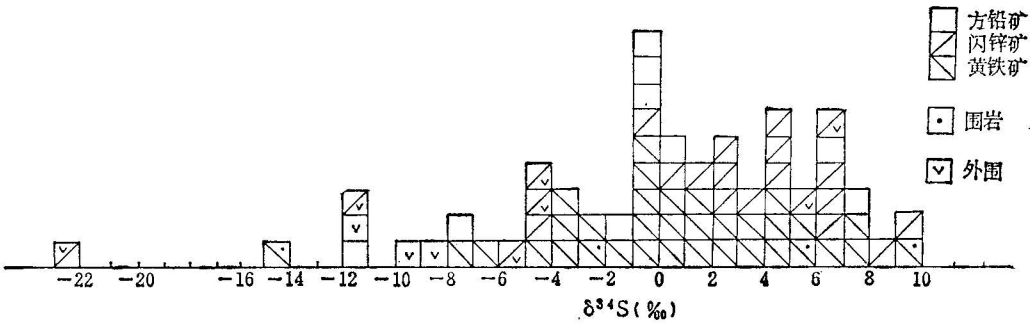


图 4 北山矿床硫同位素组成直方图

Fig. 4 Frequency diagram showing the sulfur isotopic composition for the Beishan deposit

2. 硫源及成因讨论

大量的研究已经证明,层控矿床中的硫主要是来自同时代海水硫酸盐的细菌还原作用,硫同位素的分馏程度与当时的沉积或成硫环境有很大的关系^[7]。从岩相古地理分析已经知道,在东岗岭早期,北山矿床位于上甫半局限台地和环江开阔台地交接带上开阔台

表 4 北山矿床及其外围硫同位素变化对比
Table 4 Variations of sulfur isotopic composition of the Beishan deposit and its country rocks

产 地	方 铅 矿	闪 锌 矿	黄 铁 矿	全矿床(区)
北山矿体	-11.5 — $+7.6$ -5.7 — $+4.2^*$	-4.5 — $+9.5$ -9.3 — $+9.8^*$	-7.9 — $+7.7$ -7.1 — $+7.4^*$	-11.5 — $+9.5$ -9.3 — $+9.8^*$
北山围岩			-14.7 — $+9.4$ $+5.8$ — $+20.9^*$	-14.7 — $+20.9$
外 围	-11.2 — -8.3	-22.5 — $+6.2$		-22.5 — $+6.2$
总变化	-11.5 — $+7.6$	-22.5 — $+9.8$	-14.7 — $+20.9$	-22.5 — $+20.9$

* 引自戴建平, 1983, 广西北山矿床地质特征及成因。

1) 戴建平, 1983, 广西北山矿床地质特征及成因。

地的一侧,而且本区目前发现的矿床(点)中有 87.5% 分布在半局限—开阔台地的生物礁、滩相碳酸盐岩中,可能属于半封闭—开放的沉积环境。当然,不同部位或不同成矿阶段其开放程度是不一样的。

当沉积或成硫环境处于比较封闭时(如台凹、洼塘区),与地层一起形成的黄铁矿,其硫同位素虽有正有负,但以正值为主, $\delta^{34}\text{S} > 10\text{‰}$, 最高可达 20.9‰; 当处于开放系统时(如隆起区),由于沉积环境中有机质变少,其内只能生存少量的还原菌类。同时由于易于渗透,使 SO_4^{2-} 离子扩散进去的速度可以与由于 HS^- 离子的还原作用和铁等硫化物的沉积作用所消耗的速度一样快,形成对 SO_4^{2-} 封闭不佳的开放体系,形成的硫化物以富集 ^{32}S 为主,所以在矿床中常见产于白云岩中的黄铁矿其 $\delta^{34}\text{S}$ 值较小,一般在 $-5 \sim +10\text{‰}$ 之间。北山矿床产于白云岩中的硫化物,同样以富集 ^{32}S 为主, $\delta^{34}\text{S}$ 值 $< +10\text{‰}$, 外围矿床最低可达 -22.5‰ 。

(三) 碳、氧同位素

共测定北山矿床围岩——碳酸盐岩石、矿物的碳、氧同位素样 16 个。总的变化是 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 除个别特低为 -22.2‰ 外,大多数为 $-2.4 \sim 4.8\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为 $-13.1 \sim -5.2\text{‰}$ (表 5) 或 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $16.9 \sim 24.8\text{‰}$ 。

表 5 北山矿床围岩——碳酸盐岩石的碳、氧同位素组成
Table 5 Carbon and oxygen isotopic composition of the country rocks——
carbonate rocks——of the Beishan deposit

样 号	样品名称	产 地	$\delta^{13}\text{C}_{\text{‰}}(\text{PDB})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}(\text{PDB})$
P ₁	球状层孔虫化石	北山山顶水采铁帽场露头	4.4	-5.7
P ₂	球状层孔虫化石	北山山顶水采铁帽场露头	4.8	-5.2
P ₁₆	球状层孔虫化石	ZK 8M ₂ , 228m	2.1	-6.3
P ₁₄	枝状层孔虫化石	ZK 8M ₂ , 126m	0.6	-10.1
北碳 ₂	球状层孔虫骨架灰岩	ZK 8M ₂ , 267.9m	0.7	-6.6
P ₃	纯泥晶灰岩	北山山腰公路拐弯处	2.2	-7.8
P ₃₀	粉晶灰岩	ZK 1901, 420.6m	0.8	-7.1
P ₅₄	泥 灰 岩	ZK 4011, 273m	0.5	-12.7
北碳 ₃	泥晶灰岩	北山山腰公路拐弯处	0.9	-7.2
北碳 ₁	白云质灰岩	ZK 8M ₂ , 100.14m	0.2	-13.1
P ₁₃	白 云 岩	ZK 8M ₂ , 94.3m	0.3	-12.2
P ₁₇	白 云 岩	ZK 8M ₂ , 228.4m	-22.2	-11.1
P ₄₁	白 云 岩	ZK 6209, 396.5m	0.8	-9.0
P ₅	方 解 石	三线孔道内,方解石团块	0.4	-6.6
P ₁₅	方 解 石	ZK 8M ₂ , 208m 方解石脉	-2.4	-10.0
P ₂₅	方 解 石	ZK 1901, 373.4m 方解石脉	0.5	-9.4

北山矿床的碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要落在正常海相碳酸盐岩的范围内。个别在 -22‰ 以下,显然有生物碳的加入。总的来看,灰岩(包括层孔虫灰岩)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高,为正值;白云岩和方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。也就是说,白云石化和方解石化有使轻碳同位素富集的趋势,矿化均与白云石化和方解石化有关。

$\delta^{18}\text{O}$ 值也在正常海相碳酸盐岩范围内。并且按白云岩→灰岩→层孔虫化石灰岩→方解石的顺序, $\delta^{18}\text{O}$ 值有递增的趋势。表明重结晶、白云岩化有可能富集轻氧同位素。

与已知粤北、湘中地区的某些泥盆系层控矿床的碳、氧同位素^[7]比较(图 5), 大多数数据介于二者之间, 少数更富集 ^{18}O 和 ^{13}C 。与同一地区(桂北)的泗顶铅-锌矿比则是很相似的^[1]。

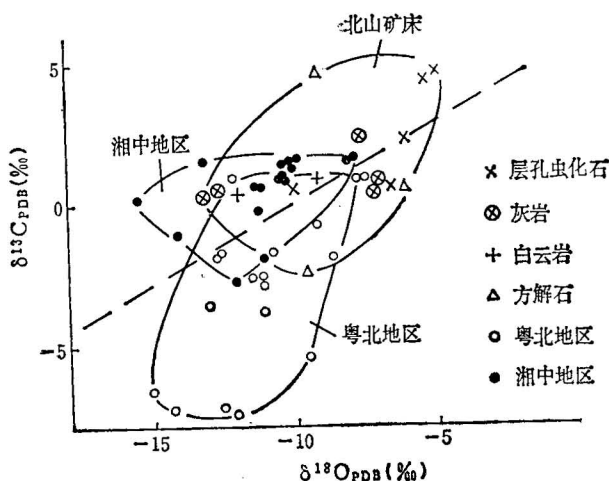


图 5 北山矿床碳酸盐岩碳、氧同位素组成坐标图(与粤北、湘中地区对比)

Fig. 5 Carbon and oxygen isotopic composition of carbonate rocks in the Beishan deposit (as compared with that in northern Guangdong and central Hunan)

结 论 与 讨 论

综合分析,可以获得如下初步结论:

1. 根据铅同位素特征,结合野外观察,北山矿床的铅等主要金属物质有三个主要来源:(1) 古陆上的老地层及其中大量的岩浆岩(包括基性-超基性岩)的风化、剥蚀。铅的初始来源是古老上地幔(或下地壳)和上地壳;(2) 深断裂切穿基底,通过深部循环的地下热水及洼塘内油田卤水的淋滤、搬运,由下伏地层、特别是寒武系提供大量的铅等金属物质。铅的初始来源有古老上地壳和近代下地壳或上地幔;(3) 海解台凹中的矿化层及不整合面上富集的铅、锌等有用元素,即来自泥盆系本身或当时的海水(包括演化到泥盆纪时与铀、钍分离的铅),以上地壳铅为主。

2. 从硫同位素组成特征并结合沉积环境的研究,证明硫主要来自海水硫酸盐的细菌还原作用。同位素组成介于主要属封闭体系的粤北地区和主要属开放体系的湘中地区之间,但更接近湘中地区。

3. 碳、氧同位素分析结果表明,北山地区的碳酸盐岩属正常海水沉积,由于后期的改造作用使少数数据有些偏离。并有生物碳的加入。

1) 陈好寿, 1985, 南岭泥盆系层控矿床的稳定同位素, 研究报告。

4. 该矿床的形成经历了两个主要阶段, 即同生或准同生沉积(成岩)矿化阶段和成岩期后富集成矿阶段, 亦即后期改造阶段: (1) 在沉积(成岩)矿化阶段, 由于靠近古陆, 古陆上丰富的物质(广布的前泥盆纪地层, 各类中、酸性、基性、超基性岩浆岩和先存的铅、锌硫化物矿床)在长期风化、剥蚀的表生作用下, 其中的铅、锌等元素被搬入海盆。在指状构造形成的若干相对隆起和凹陷的古地理环境中, 一部分含矿溶液流经易于生物大量繁殖的隆起区, 铅、锌等元素被生物吸收, 使之富集在生物礁、滩相碳酸盐岩石中形成矿化层; 同时, 更多的部分含矿溶液则进入洼塘区, 由于这里比较闭塞, 水深而宁静, 富含有机质、灰泥质及生物死后产生的 H_2S 等也吸收铅、锌使之富集。在这种半还原—还原条件下, 海水硫酸盐大量还原产生丰富的硫与铅、锌、铁等元素结合便形成硫化物。这样, 便使深水相洼塘区内的深灰色含碳泥质灰岩、泥灰岩及泥岩等岩石矿化, 形成另一个矿化层。(2) 在成岩期后富集(改造)成矿阶段, 在隆起区, 沉积物不断加厚, 在生物礁、滩相矿化层顶部发生白云岩化, 在白云岩层之上又沉积了一套含灰质薄—中层状深灰色含泥晶灰岩、泥灰岩, 形成盖层。由于该层渗透性差, 可塑性强, 能起到对铅、锌等金属的过滤和屏闭作用。由于渗透性能和压力差的关系, 生物礁、滩矿化层的铅、锌便转移到白云岩中。由于白云岩化使其孔隙度比之原灰岩大大提高, 使之成为理想的储矿空间。同时, 油田卤水、深循环地下水、海解矿质水及海底热泉等也沿深断裂上升, 将携带的大量铅、锌等元素阻隔于盖层之下, 在礁顶白云岩中聚集。与此同时, 在洼塘区, 也在沉积物不断加厚、埋深不断加大的情况下, 油田卤水、深循环地下水等对矿化层和岩石中分散的铅、锌有极高的萃取能力, 使之在这种混合热水中聚集起来形成高浓度的含矿溶液。由于洼塘区与隆起区之间存在着物理上的压力差, 加上构造运动力的驱使, 导致处于高温、高压下的洼塘区中的这种含矿溶液也本能地通过断裂和孔渗性能好的生物礁、滩相岩石向低压的隆起区转移, 在盖层之下的礁顶白云岩中定位下来, 形成了现在的北山矿床。

5. 根据成矿环境、控矿条件和稳定同位素分析, 不难提出本区的找矿方向。从控矿条件看, 在江南古陆外缘中泥盆统沉积时的基底隆起区或隆起斜坡区、泥盆系 D_2d^2 及 $D_2d^{2-2}-D_3g$ 最有利含矿层位中, 在背斜翼部有纵向的、多期活动的、切穿基底的断层两侧, 下有生物礁, 上有屏闭盖层的白云岩中是找矿的最有利地段。从同位素对比看, 同位素组成变化大, 同时具有来自古陆和下伏古老基底(寒武系为主)的古老铅和后期改造带来的年轻铅的地区有可能找到北山式矿。综合上述标志, 除北山周围尚有可能扩大远景外, 都以万隆、环江拉更、小文洞等地均是最有希望的找矿地区。

参 考 文 献

- [1] Doe, B. R. and Stacey, J. S., 1974, The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evolution: A Review. *Econ. Geol.* Vol. 69, pp. 757—776.
- [2] Cumming, G. L. and Richards, J. R., 1975, Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth. *Earth and planet. Sci. Letters* Vol. 28, No. 2, pp. 155—175.
- [3] Stacey, J. S. and Kramers, J. D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Letters* Vol. 26, No. 2, pp. 207—221.
- [4] Doe, B. R. and Zartman, R. E., 1979, Plumbotronics the phanerozoic. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* 2nd Edition. pp. 22—66.
- [5] Faure, G., 1977, *Principles of isotope geology*. John Wiley & Sons. Inc. pp. 227—261.
- [6] 陈好寿, 1979, 铅同位素地质研究的基本问题。地质出版社。

- [7] 涂光炽等著, 1984, 中国层控矿床地球化学。第 1 卷, 第 308 页, 科学出版社。
[8] 陈好寿, 1983, 我国层控多金属矿床的铅、硫同位素研究。矿床地质, 第 3 期, 第 79—87 页。

STABLE ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF THE BEISHAN STRATABOUND ZINCBLENDE-PYRITE ORE DEPOSIT, GUANGXI

Chen Haoshou, Lu Hong

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences)

Shi Huangqi and Wang Xiangcheng

(Geological Party No. 7, Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Liujiang County (Labao))

Abstract

Based on lead, sulfur, carbon and oxygen isotope data of the Beishan zincblende-pyrite deposit, this paper describes the distribution characteristics of the stable isotopes in the deposit and deals with such problems as ore genesis, source of mineralizing substances and ore-forming processes.

The lead isotopic composition in the deposit varies to a certain extent: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.844\text{—}18.448$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.354\text{—}15.771$, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.825\text{—}38.840$. Most of the calculated model ages are older than 400 Ma, ranging from 400 to 630 Ma, i. e., older than the geological age of the country rocks. This old lead was transported from the ancient basement or oldland to its present site during the sedimentary (diagenetic) stage or the Mesozoic crustal movements. Some of these model ages are consistent with or close to the age of the country rocks, ranging from 300 to 400 Ma; thus it follows that the lead was derived from the Devonian strata.

The $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$, $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ and Th/U ratios for the provenance of the lead are 9.0—9.9, 35.3—42.3 and 3.8—4.4, respectively. Most of the lead comes from the upper crust, while a little comes from the lower crust or the upper mantle.

$\delta^{34}\text{S}$ values of the sulfides in the deposit are highly varied ($-22.5\text{—}+20.9\%$), but most of them are lower than $+10\%$. The sulfur comes mainly from marine sulfates. The main cause responsible for the variation of sulfur isotopic composition in the sulfides is due to the reduction of sulfate ions by anaerobic bacteria in different depositional or sulfur-forming environments.

The carbonate rocks in the deposit have a $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ value ranging from -2.4 to 4.8% (with a few exceptions) and a $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ value of $-13.1\text{—}-5.2\%$, indicating that they belong to normal marine carbonate rocks. The carbon, oxygen and sulfur isotopic compositions in the Beishan deposit are similar to those in some deposits such as the Siding Pb-Zn deposit in northern Guangxi but obviously different from those in deposits in northern Guangdong, southern and central Hunan.

Based on these isotope characteristics combined with the geological setting of the deposit, the authors suggest that the formation of the Beishan deposit went through two stages: sedimentary-diagenetic mineralization stage and epigenetic remoulding-enrichment stage.