

96, 32(2)

构造改造成矿机制

p618.680.5

4-11

——四川羊石坑汞矿成矿作用探讨^①

夏 勇

(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)

A

羊石坑汞矿床是位于四川省秀山县境内的大型汞矿床,产于下寒武统清虚洞组碳酸盐岩中,受地层和构造双重控制,并以细脉浸染型为特征而区别于我国其他大型汞矿床。概括了该矿产出的区域地质背景、物质来源和构造控矿特征,通过对不同构造部位矿物、元素及同位素等的分布、分配特征和矿床地质地球化学研究,揭示了成矿物质来自沉积地层,矿源层的形成与同生断裂活动和深部物质加入有关,构造—热液活动对矿源层的改造导致了矿床形成,成矿主要在低温条件下进行,构造改造强度的差异会导致成矿条件改变,促进了元素分异和同位素分馏。

关键词 汞矿床, 成矿机制, 矿床地球化学 四川省

控矿构造



1 区域地质概况

羊石坑汞矿床位于扬子板块之鄂黔台褶带中,受区域一级构造——桐麻岭背斜控制。区内出露上板溪群、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系和第四系。根据地层间角度不整合接触关系,可将地层划分为前震旦系构造层、震旦系—三叠系构造层和第四系构造层。各构造层中构造发育状况,由于受扬子板块及相邻板块的发育特征影响^[1,2]而表现不同。前震旦系构造层主要由一套灰、浅灰、灰绿色薄到中厚层状砂岩夹粘板岩组成,构造发育具有叠加性质,其出露部分总体产状平缓,为北北东向区域级背斜核部,但仍可见受到改造的北东向褶皱及伴生组分断续分布,并使上覆地层形成局部隆起,沿 60~70°方向展布,反映了

早期近南北向和晚期近东西向挤压特征(图 1)。震旦系—三叠系构造层主要由一套浅海到碳酸盐台地相岩石建造组成,构造主要表现为北北东向褶皱呈雁列式排列,轴向 6~30°,显示近东西向挤压和稍后的左旋扭应力叠加的性质。因此,本区构造轮廓总体以燕山期北北东向构造格局主,局部受晋宁期北东向构造影响。本汞矿床就处于基底北东向隆起和盖层北北东向背斜的交汇部位,即桐麻岭背斜之桐麻岭高点附近。

桐麻岭背斜为一级控矿构造,延长达 150km 以上,轴向北北东,呈中间宽、两端狭长之纺锤状;为西翼平缓、东翼较陡的不对称褶皱。背斜因受基底构造影响而使脊线呈波状起伏,形成桐麻岭、大坡、半边城等高点。断层发育,常切割背斜轴线,矿床内主要见北西走向的陈山崖断裂带及与之平等的 F₆、F₇ 等断裂,它们对矿床有明显的控制作用。

①:中国科学院矿床地球化学开放研究实验室基金和国家自然科学基金资助课题。

本文 1995 年 3 月收到,林镇泰编辑。

2 物源探讨及矿源层特征

2.1 矿床地质特征

羊石坑为一单汞矿床,矿石成分简单,具工业意义的矿石矿物仅有辰砂。脉石矿物主要是方解石、白云石和石英等。与成矿有关的

围岩蚀变主要有方解石化、白云石化和硅化。矿床严格受下寒武统清虚洞组泻湖、萨勃哈台地相碳酸盐岩建造控制,产状与地层近于一致。在矿区及其附近相当大范围内无岩浆岩和深大断裂分布(见图1)。

2.2 岩石地球化学特征

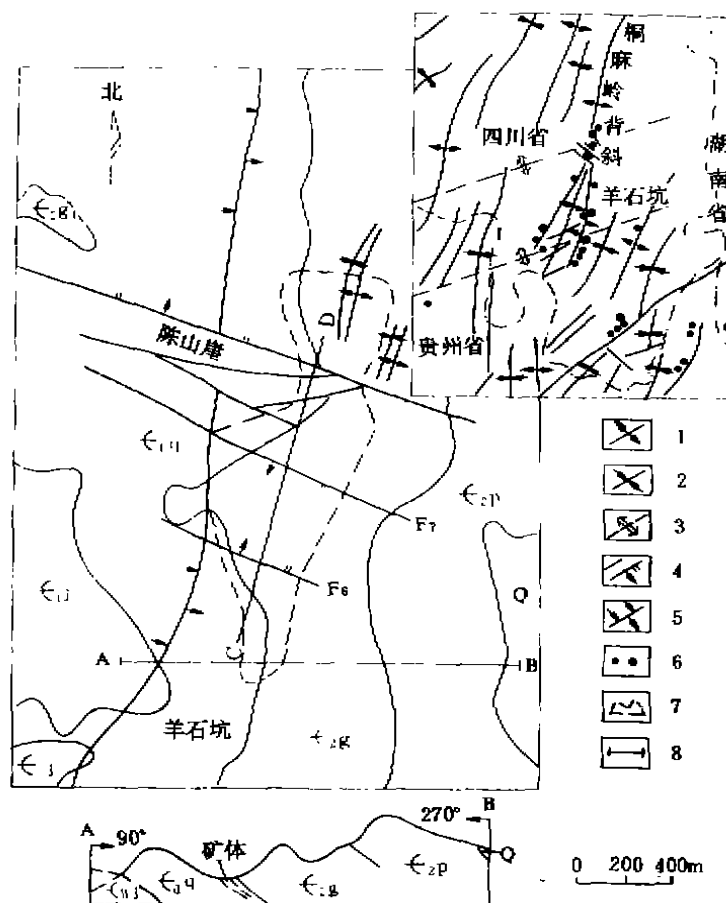


图1 羊石坑汞矿地质略图

ε_{2p}—平井组白云岩;ε_{2g}—高台组含膏盐白云岩;ε_{1q}—清虚洞组灰岩和含膏盐白云岩;ε_{1j}—金顶山组砂岩和页岩;1—背斜;2—向斜;3—基底背斜;4—断层;5—半箱状背斜育线;6—汞矿床;7—矿化区;8—剖面

通过对板溪群到上寒武统各地层岩石微量汞及伴生元素分析(表1)可知,地层含汞量有明显差异:中、上寒武统含汞量很低甚至低于克拉克值(0.5×10^{-6}),而下寒武统及以下地层,汞含量明显偏高,并在震旦系南沱

组、陡山沱组和下寒武统牛蹄塘组、清虚洞组形成峰值,其含量均大于克拉克值3倍以上,同时富含Ba、Cu、Ti、Pb等。这些地层均可提供丰富的成矿物质,但受构造、岩性和水文条件的限制,在矿床构造—热液改造成矿

过程中,前寒武系古老地层物质很难大量加入。

表1 膏田剖面上不同层位元素含量特征

取样层位	样品数	分析成果 (平均值, $\times 10^{-6}$)								化验结果 $Hg(\times 10^{-6})$
		Cu	Ti	V	Pb	Ni	Sn	Ba	Co	
ϵ_{3m}	23	3	70	4	0.5	2	0.2	83	0.5	0.02
ϵ_{3g}	16	5	66	7	1	3	0.2	27	1	0.03
ϵ_{2p}	43	10	164	8	4	6	0.3	35	2	0.02
ϵ_{2s}	20	8	440	9	1	13	0.3	45	2	0.09
ϵ_{2g}	4	12	350	15	1	11	1	62	8	0.09
ϵ_{1q}	31	7	145	10	5	8	0.2	98	4	0.29
ϵ_{1j}	12	7	1254	84	6	20	3	192	11	0.05
ϵ_{1m}	17	14	82	105	10	20	2	229	8	0.15
ϵ_{1n}	16	120	1087	278	8	81	11	116	15	0.18
Zb _{dn}	1	30	500	50	10	100	0.2	500	20	0.11
Zb _d	15	22	1347	162	12	38	1	1180	16	0.24
Za _n	20	24	25	74	24	22	2	170	34	0.59
Pt _{bnb}	3	13	1500	63	12	13	1	67	12	0.08

①CN-28型石英棱镜摄谱仪测定;②测汞仪测定。测试单位:贵州省地矿局实验室。

对牛蹄塘组、清虚洞组不同岩性的汞量测定表明,前者汞主要集中于黑色页岩中,含量在 $0.41 \sim 1.35(\times 10^{-6})$;后者汞明显在盐湖相和蒸发台地相的细晶白云岩中较高,可达 $0.86 \sim 2.20(\times 10^{-6})$,高出克拉克值近10倍到数十倍,它们可能是主要的矿源层。

2.3 岩矿稳定同位素和微量元素

据硫、氧、碳、铅同素及一些特征元素对比值研究可得出以下认识:

2.3.1 矿床中辰砂、辉锑矿的硫同位素 $\delta^{34}S$ 值平均为 12.78% ,绝对偏差 11.63% 。据辰砂—重晶石矿物对计算的热液 $\delta^{34}S_2 = 30.63\%$ ^[3],表明硫源来自寒武系地层的硫酸盐。

2.3.2 方解石、白云石的 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 值平均为 18.80% (SMOW)和 -3.61 (PDB),这与清虚洞组碳酸盐岩的 $\delta^{18}O$ 值(平均 22.89%)和 $\delta^{13}C$ 值(平均 -0.95%)非常接近,均落入海相碳酸盐区域和部分海洋有机物区域^[3]。

2.3.3 矿石和岩石铅同位素测试结果表明(表2),矿石与下寒武统黑色岩系及碳酸盐

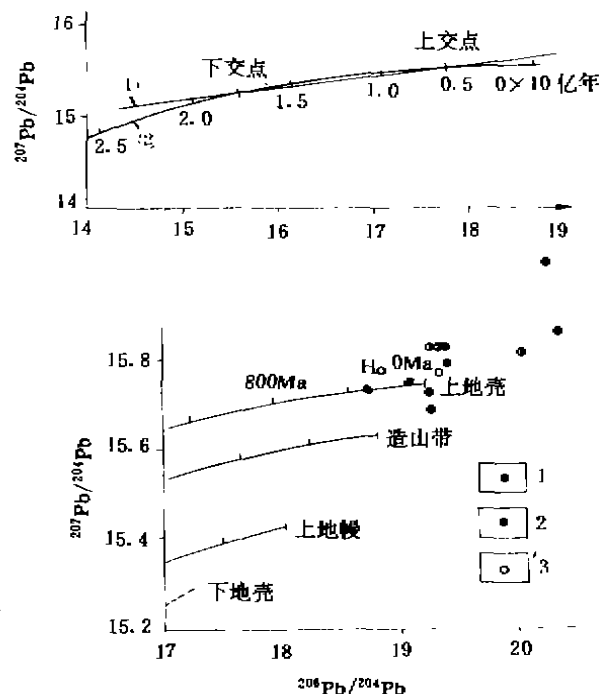


图2 矿石、岩石铅同位素组成坐标图
(图中铅演化曲线采用 Deo 和 Zartman 模式)

1—矿石中的辰砂、辉锑矿;2—下寒武统黑色砂岩全岩;3—滇黔地区寒武纪灰岩、白云岩(据花永丰,1982)^[2];
①矿石、岩石异常铅线相关系数 $r = 0.74$ ($r_{0.01} = 0.71$);

②斯塔西正常铅两阶段模式演化曲线

岩的铅同位素组成极为相似,均为近期放射性异常铅,模式年龄多为负值,源区特征参数值反映它们的来源相同。其在²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb对²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb坐标图上的投影与Doe和Zartman的铅构造模式演化曲线对比^[4,5](图2),全部数据落入上地壳平均演化线附近,且明显呈线性分布。采用最小二乘法对该直线拟合,得到可信的理想线性方程:

$$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=0.132\times ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}+13.226$$

该直线与斯塔西正常铅两阶段演化曲线^[6]相交于两点:上交点²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb为17.

782,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb为15.573,年龄值 $0.58\times 10^9\text{a}$;下交点²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb为15.563,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb为15.280,年龄值 $1.80\times 10^9\text{a}$ 。根据地质背景,我们认为矿床具有多阶段铅特点,其下交点为来源物质年龄,部分铅是从18亿a左右的地壳岩石中来的;上交点年龄值与下寒武统绝对年龄值非常接近,是异常铅沉淀时间,表现为壳源、同生沉积产物,形成矿源层。矿床则是在矿源层基础上进一步富集而成。从控矿构造的成生时代来看,主要成矿时期为燕山期。

表2 羊石坑汞矿矿石矿物及松桃黄连剖面岩石铅同位素组成

矿物岩石	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	Doe 模式年龄		源区特征参数		
				Φ	年龄 $\times 10^9\text{a}$	μ	ν	ω
辉锑矿	18.744 $\pm$ 0.001	15.723 $\pm$ 0.002	38.782 $\pm$ 0.002	0.5753	74.6	9.66	0.07	37.25
辉锑矿	19.273 $\pm$ 0.003	15.724 $\pm$ 0.003	38.471 $\pm$ 0.005	0.5449	-28.9	10.04	0.07	35.27
辉锑矿	19.083 $\pm$ 0.001	15.739 $\pm$ 0.005	38.690 $\pm$ 0.01	0.5570	-14.4	9.87	0.07	36.24
辰砂	19.272 $\pm$ 0.003	15.680 $\pm$ 0.01	38.639 $\pm$ 0.007	0.5405	-34.1	10.04	0.07	35.89
辰砂	19.074 $\pm$ 0.07	15.783 $\pm$ 0.004	38.958 $\pm$ 0.003	0.5620	-8.4	9.76	0.07	37.33
辰砂	20.243 $\pm$ 0.07	16.016 $\pm$ 0.05	39.327 $\pm$ 0.1	0.5232	-54.7	10.97	0.07	38.43
辰砂	20.325 $\pm$ 0.03	15.867 $\pm$ 0.01	39.052 $\pm$ 0.006	0.5058	-75.4	11.02	0.07	37.21
辰砂	19.349 $\pm$ 0.017	15.835 $\pm$ 0.003	38.948 $\pm$ 0.001	0.5518	-20.6	10.13	0.07	37.20
ε ₁ b 黑色页岩	20.025 $\pm$ 0.014	15.814 $\pm$ 0.012	39.055 $\pm$ 0.031	0.5150	-64.6	10.74	0.07	37.30
ε ₁ b 砂岩	19.403 $\pm$ 0.021	15.794 $\pm$ 0.015	39.656 $\pm$ 0.037	0.5448	-29.0	10.17	0.07	39.92
ε ₁ p 黑色页岩	19.299 $\pm$ 0.005	15.825 $\pm$ 0.005	39.745 $\pm$ 0.015	0.5535	-18.5	10.09	0.07	40.35
ε ₁ p 粉砂质页岩	19.335 $\pm$ 0.009	15.826 $\pm$ 0.005	40.429 $\pm$ 0.015	0.5517	-20.7	10.12	0.07	43.02

测试单位:地矿部宜昌所

一些元素对比值如Sr/Ba、Co/Ni等也反映出矿石与下寒武统高汞岩石接近。因此,笔者认为矿床物源主要来自下寒武统高汞岩石牛蹄塘组和清虚洞组等,其矿源层形成于局限海盆或蒸发台地,含丰富的成矿元素和有机质或石盐、膏盐,本身具有生油特征或为强含水层。因此,在早期有利于成矿物质的有机质吸附、浓缩使其初步集中,后期又有利于地下水循环和盐类溶解,使成矿元素成为成

矿热液或成矿物质为油田热卤水所携带而迁移富集。

3 构造运动与汞矿成矿

3.1 构造环境与矿源层形成

从川东南及邻区构造演化特征分析,该区下寒武统之所以能成为汞、铅、锌、钡等的矿源层,与同生断裂活动密切相关。本区当时处于川黔湘鄂似裂谷盆地边缘的碳酸盐台地

(图3),由于区域拉张和新物质加入,平行于微扩张中心的沟壑式同生断裂活动^[7~9],无疑对深部物质沿同生断裂上升进入海盆,以及海底热水活动、喷气和海水下渗溶滤前寒武系高汞岩石极为有利,为矿源层的形成提供了必要条件。下寒武统一些黑色岩系的形成即与海底热水活动和喷气作用密切相关^[16]。

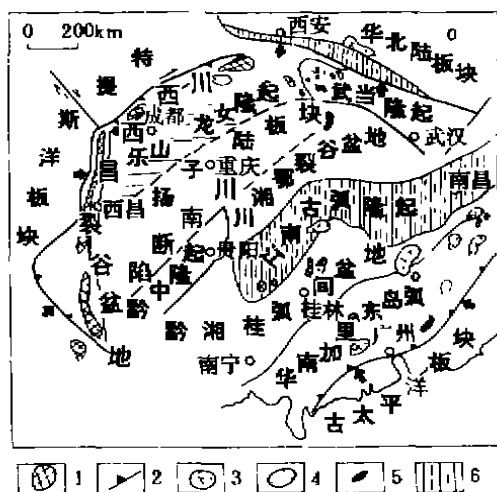


图3 加里东期扬子陆块两侧
沟—弧—裂谷系展布图
(据谢琪等 1979)

1—板内古岛链;2—俯冲带;3—加里东期中性岩;4—加里东期花岗岩;5—加里东期超基性岩;6—加里东期褶皱带

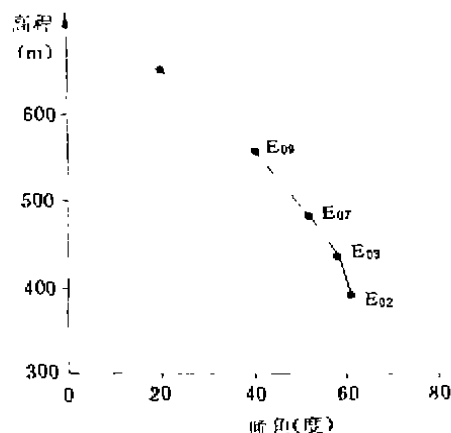


图4 矿床内地层产状在垂向上的变化

3.2 构造运动与改造成矿

3.2.1 构造控矿特征 矿体主要产于各种构造形迹的微张开部位,主要有以下类型:

(1)地层产状变化形成的微张开构造。矿床位于桐麻岭背斜南段轴线由北东 23° 转向 6° 的弧形转弯处(见图1)。这种转弯导致局部拉张作用,形成背斜的微张开部位,控制了矿床分布。在整个矿床受桐麻岭背斜东翼之箱状挠曲控制,产于地层由缓变陡处。根据不同标高上地层产状变化(图4),显示出箱状挠曲中仍有次级挠曲,并成为较富矿体的赋存场所,如 E_{03} 、 E_{03} 两中段处于产状变化点附近,常有较富矿体产出(图5)。层间小背斜等也是矿体的产出部位。

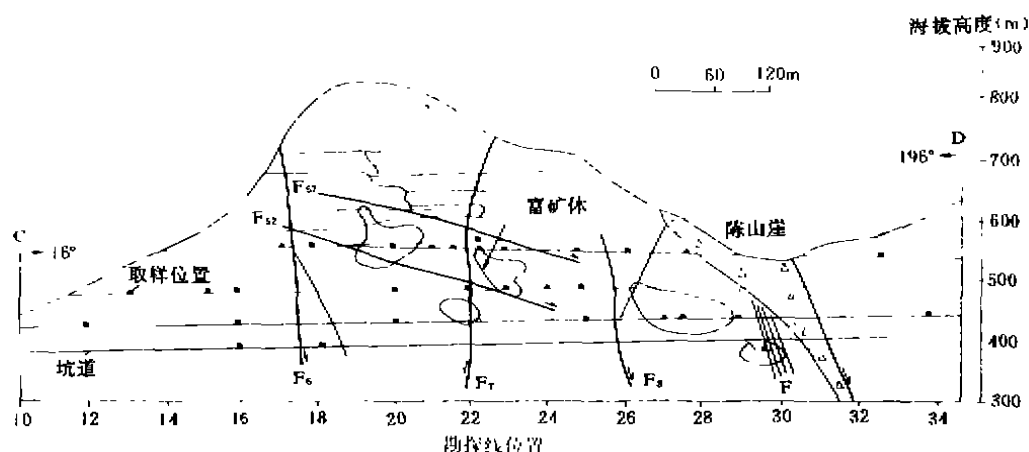


图5 C—D剖面 and 采样位置图

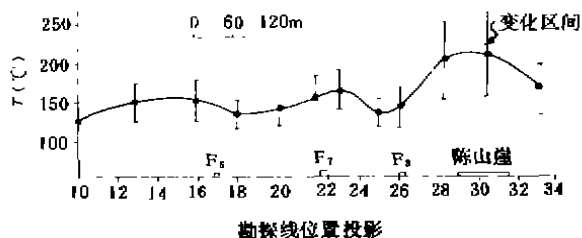


图6 C—D剖面的温度变化与断层的关系

(2)断裂活动造成的微张开构造。陈山崖、 F_6 、 F_7 等主要控矿断层和控矿节理裂隙具有多次活动特点,汞矿的富集均与断裂的张性改造期有关,尤其是多次活动和几组断裂的交汇部位,常有较大、较富的矿体产出(见图5)。

3.2.2 构造改造强度对成矿环境的影响

将矿床的改造强度分为两类:改造相对强区和改造相对弱区。前者位于构造应力集释放地区,裂隙发育,构造变形相对强烈和明显,如陈山崖断裂带及其附近地带;后者远离应力集中区,岩石构造变形弱,构造改造强度小,如远离断裂带及断层处。由于构造改造强度的差异,使得成矿条件也有不同,从而控制

了矿床范围内元素的迁移、沉淀,导致矿化度及元素分布上从改造强区到弱区有规律变化,主要表现为:

(1)从强区到弱区,成矿温度降低,主要成矿阶段不同构造部位成矿温度有一定差异,靠近陈山崖断裂带,温度值通常比其他地段高出50℃以上(图6)

(2)改造强烈的网脉状矿体中 Fe^{2+}/Fe^{3+} 比值为1.69±,而改造强度较低的似层状矿体约为2.21,反映出改造强区Eh值较高,改造弱区较低,这可能与改造区环境开放程度更高有关。

(3)从稳定同位素组成和一些元素对比值(如Co/Ni、Sr/Ba)的变化情况分析(表3、图7),在构造改造强度较高的部位,稳定同位素组成、元素对比值偏离原岩较大,同位素组成相对富轻同位素,且变化不大,均一程度高;而构造改造较弱的部位,稳定同位素组成、元素对比值常接近围岩或原岩特点,同位素相对富重同位素,且变化大,均一程度较低,反映出成矿环境的差异。

表3 矿床中元素对比值特征

序号	矿体	Sr/Ba	Fe^{2+}/Fe^{3+}	K_2O/Na_2O	CaO/MgO	Co/Ni
1	似层状矿体	1.06	0.45	1.47	5.26	0.64~0.85 (7个样)
2		0.04	0.58	0.33	25.73	
3		0.00	5.98	0.29	22.96	
4		0.04	1.82	1.31	5.25	
平均		0.29	2.21	0.85	14.8	0.75
5	网脉状矿体	0.05	2.11	0.45	1.47	0.47~2.86 (24个样)
6		0.03	1.88	1.18	3.71	
7		0.04	1.41	1.00	1.54	
8		0.02	0.69	0.38	1.91	
9		0.11	2.36	0.76	1.60	
10		0.00	0.45	0.29	31.61	
11		0.04	2.93	1.00	1.67	
12		0.13	0.41	0.38	25.61	
13		0.01	1.59	0.65	4.45	
14		1.18	0.99	0.41	1.59	
平均		0.16	1.48	0.65	7.52	1.05
围岩平均值		2.46	0.67	5.98	1.45	0.78

(4)根据矿床包裹体地球化学研究^[11],成矿热液为封存热卤水(可能为油田热卤水)与大气降水的混合,辰砂晶出温度主要为120~200℃(均一温度)。根据岩石、蚀变岩石、矿石的氢氧同位素测试结果计算的水/岩(W/R)比率及其在矿床范围内的变化特征见图7。其W/R值总体在0.1~0.37间变化,并且随远离陈山崖断裂带向外有明显降低趋势,和矿床块段品位联起来分析,还发现W/R值越大,矿体品位越高,即为矿体较富地段,如陈山崖断裂带及其附近,W/R值较高,约3.0,其矿体块段品位可达0.5%,而在远离该断裂带的15勘探线附近,W/R约在0.10,该处矿石品位接近矿体品位边界范围。因此,矿化强度也是随着构造改造强度的降低、W/R值减小而递减。

综上所述,构造运动对矿床的形成起到重要作用,构造成矿的机制在于构造运动对矿源层和围岩进行了改造,驱动了成矿元素的活化迁移,并控制了热液的演化特点和由于不同构造部位改造强度的差异,导致了环境的开放程度、成矿物理化学条件,成矿流体与岩石相互作用强度的变化,从而使成矿元素有规律沉淀在构造有利部位和发生分带,形成矿床。

4 结论

1.羊石坑汞矿床属低温层控矿床,矿床物

质来源为下寒武统高汞岩石,主要为形成于局限盆地和蒸发台地相的黑色岩系和碳酸盐岩。矿源层的形成与同生断裂活动,深部物质加入密切有关。

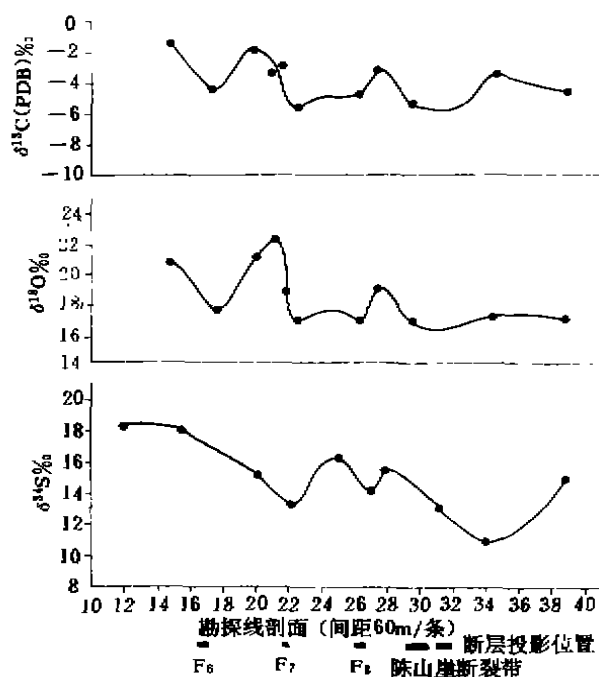


图7 矿床中矿物稳定同位素组成与构造的关系

2.构造运动致使矿源层和围岩遭受变形和改造,驱动了热液活动和成矿元素的活化迁移,并在有利构造部位形成矿床,我们称之为构造改造成矿,羊石坑汞矿床的形成就是构造改造成矿作用所致。汞矿主要富集于控矿构造张性改造部位,形成于燕山期。

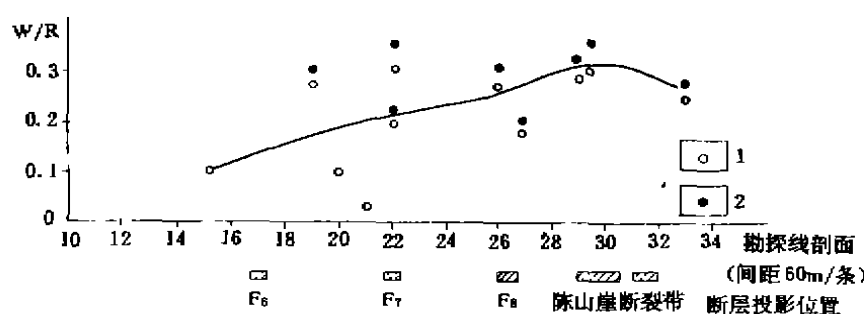


图8 矿床中W/R值在不同构造部位的特征

1—封闭体系;2—开放体系

3.矿床地球化学研究表明,主要成矿过程为一低温过程,构造改造强度的差异会导致

成矿条件的改变,促进了元素分异和同位素分馏。因此,构造改造成矿过程具有构造分异和应力同位素分馏效应。

本文在成文过程中曾多次与贵州省地矿局王华云高级工程师进行了广泛讨论,使笔者受益甚多,在此表示衷心感谢!

参考文献

- 1 谢琪. 试论四川盆地地质构造与边缘板块运动之关系. 天然气勘探与开发, 1979, 2
- 2 罗志立. 扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响. 地质科学, 1979, 2: 127—137
- 3 夏勇. 四川羊石坑汞矿床稳定同位素研究. 贵州工学院学报, 1989, 1: 87—97
- 4 Doe B R, Zartman R E. Plumbotectonics In, Barnes HL

ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 2th ed. New York: John Willeg, 1979, 22—66

- 5 Zartman RE, Deo BR. Plumbotectonics-the model. Tectonophysics, 1981, 1—2: 136—162
- 7 杨志坚等. 江南一条地层、岩相、古生物等突变带的性质问题. 地质论评, 1981, 2
- 8 周振东等. 湖南花垣鱼塘铅锌矿成因的新认识. 成都地质学院学报, 1983, 3: 1—15
- 9 王华云等. 湘黔边境地区层控汞矿的成因研究. 见: 严钧平等. 贵州汞矿地质. 北京: 地质出版社, 1989, 99—182
- 10 李有岳、陈淑珍. 铜仁坝黄下寨武陵九门冲组的岩石化学和地球化学特征. 贵州地质, 1993, 2: 113—170
- 11 夏勇. 羊石坑汞矿床包裹体地球化学特征研究. 矿产与地质, 1992, 4: 313—317
- 12 花永丰. 中国汞矿成因及其找矿预测. 贵阳: 贵州人民出版社, 1962

The New Data of Sedimentary-Tectonic Reworked Metallogenic Mechanism of Yangshikeng Mercury Deposit, Sichuan, China

Xia Yong

Yangshikeng mercury deposit, located in Xiushan county, Sichuan Province, is a large-scale mercury deposit found in carbonate rocks of Qingxudong Formation of Lower Cambrian age. It is stratigraphically and structurally controlled. The ore-bodies are mainly stockwork-dissiminated type. The studies of geology and ore geochemistry and changes of minerals, elements and stable isotope compositions at different structural positions indicate that the metallogenic matter came from sedimentary piles and the formation of source beds was related to activity of growth faults and the matter from depth. Tectonic and hydrothermal activity reworked the source beds and made the formation of the mercury deposit under lower temperature. The tectonic reworked strength would lead to changes of metallogenic conditions and differentiation of elements and fractionation of stable isotope.

Key Words: Metallogenic Mechanism, Ore Deposit Geochemistry, Mercury Deposit, Sichuan Province

“八五”探矿工程科技攻关项目 两种新型钻机通过部级鉴定

由地矿部勘探所承担的地矿部“八五”探矿工程科技攻关项目《FD-300型液压传动顶驱式钻机的研制》和《CD-3型岩心钻机研制》日前通过地矿部部级鉴定。

FD-300型钻机是全液压顶驱式车装钻机,其转速范围宽,可无级调节,给进行程长,输出扭矩大,加压及提升力大,桅杆可上下滑移,可钻进60°~90°范围内任意倾角的钻孔,钻深超过300m。经试验证明,FD-300型钻机设计先进,技术参数选择合理,布局紧凑,机械化程度高,能满足多工艺空气钻进技术的要求,为CSR钻探技术国产化和设备小型化提供了一种较为理想的机型。鉴定委员会认为:FD-300型钻机为我国自行设计与生产的第一台用于空气反循环中心取样钻探的顶驱式全液压钻机,钻机

性能居国内领先地位。

CD-3型岩心钻机是为了适应以金刚石绳索取心为多种钻探工艺的需要,提高地质岩心钻机工作可靠性和标准化、通用化、系列化水平而研制的。该钻机于1995年6月通过性能和可靠性检验,其后在试验中完成了多种工艺钻进方法,取得圆满成功。在日前举行的鉴定会上,专家认为该钻机设计合理,与国内外同类钻机相比扭矩大、重心低、重深比小、变速范围宽、梯次分配合理,可满足以金刚石绳索取心为主、水力反循环连续取心、气动潜孔锤等多种钻探工艺的需求,整体性能优良,居国内领先水平。钻机的液压双卡盘不停车倒杆系统可实现长行程连续给进,居世界先进水平。

[转载《中国地质报》]