

文章编号 10258-7106(2007)04-0425-07

湖南黄沙坪铅锌多金属矿床的 Re-Os 同位素 等时线年龄及其地质意义*

马丽艳¹, 路远发², 屈文俊³, 付建明¹

(1 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003; 2 长江大学, 湖北 荆州 434023;
3 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要 黄沙坪铅锌多金属矿床赋存在下石炭统石碇子组灰岩与花岗斑岩接触带及附近的层滑断裂系统中, 成因上与黄沙坪花岗质岩石关系密切。其成矿时代以往都是用矿体附近的花岗质岩石(花岗斑岩、石英斑岩等)或蚀变矿物年龄来间接推断的。文章采用高精度的辉钼矿 Re-Os 等时线定年法, 直接测得矽卡岩型矿体的矿化年龄为 $(153.8 \pm 4.8) \text{Ma}$, 与前人获得的含矿矽卡岩中金云母的 K-Ar 年龄 $(153 \sim 157 \text{Ma})$ 一致。结合黄沙坪岩体及含矿矽卡岩型矿体的稀土及微量元素地球化学特征, 得出以下认识: 该矿床的成矿年龄在 154Ma 左右, 成矿作用与花岗斑岩关系密切, 它们都是华南燕山早期大规模成岩成矿作用高峰期的产物。

关键词 地球化学; Re-Os 等时线年龄; 辉钼矿; 矽卡岩; 铅锌多金属矿床; 黄沙坪

中图分类号: P618.42; P618.43; P597

文献标识码: A

Re-Os isotopic chronology of molybdenites in Huangshaping lead-zinc deposit, southeast Hunan, and its geological implications

MA LiYan¹, LU YuanFa², QU WenJun³ and FU JianMing¹

(1 Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China; 2 Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract

The Huangshaping lead-zinc polymetallic deposit in southeast Hunan is genetically related to the intrusion of Huangshaping granitic rocks and occur in the contact zone between the granodioritic porphyry and the limestone of Lower Carboniferous Shidengzi Formation as well as in the neighboring bedding-plane fault zone. Previously, the metallogenic epoch of the deposit was indirectly deduced by the ages of such nearby granitic rocks as granite porphyry and quartz porphyry or altered minerals. Based on the Re-Os isochron method of molybdenites, this paper measured directly the ore-forming age from skarn ore in the Huangshaping deposit, and got a Re-Os age of $(153.8 \pm 4.8) \text{Ma}$, which is in accordance with the previous K-Ar age of $153 \sim 157 \text{Ma}$ obtained from phlogopite in the ore-bearing skarn of the deposit. Combined with related rare earth element and trace element geochemistry of Huangshaping granites and ore-bearing skarn, it is concluded in this paper that the age of 154Ma should represent the metallogenic epoch of the deposit, and that there existed a close relationship between the ore-forming process of the deposit and the granite porphyry, which were both formed during the peak stage of Early Yanshanian large-scale rock-forming and ore-forming activities in South China.

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目(编号 1212010560901 和 1212010533307)的资助

第一作者简介 马丽艳,女,1970年生,高级工程师,同位素地质学专业。E-mail: yemliyan@cgs.gov.cn

收稿日期 2006-11-30; 改回日期 2007-05-14。李岩编辑。

Key words: geochemistry, Re-Os isochron, molybdenite, skarn, lead-zinc polymetallic deposit, Huang-shaping

湖南省黄沙坪矿床是以铅锌为主,伴生有铁、钨、钼、金、银等多种金属的大型矿床,现已有百余年的开采历史,已发现矿化体 435 个,其中工业矿体 144 个。矿区成矿地质条件优越,历来为众多的地质工作者所瞩目。前人对该矿床的地质特征及其成因、花岗质岩石(花岗斑岩、花斑岩、英安斑岩及石英斑岩等)的成岩时代、地球化学特征及其与成矿的关系等研究已有诸多文章(朱恩静等,1995;钟正春,1996;李石锦,1997;邓圣富,1997;宋谢炎等,1999;申珊,1999;曾志雄,2001)论及,而对成矿时代的研究则涉及较少,多数都是用花岗质岩石的形成年龄或蚀变矿物的年龄来代替或间接推断的,存在很大争论,这在一定程度上影响了该区找矿勘探工作的深入和区域成矿规律的研究。关于黄沙坪岩体成岩年龄数据较多,童潜明等(1986)测得石英斑岩、花岗斑岩中的长石 K-Ar 年龄分别为 125 Ma 和 146 Ma、118 Ma,冶金二三八队测得花岗斑岩中黑云母的 K-Ar 年龄为 163 Ma,中国有色矿产地质研究院采用全岩 Rb-Sr 法获得石英斑岩的形成年龄为 149.7 Ma;杨世义等(1986)获得花岗斑岩全岩 Rb-Sr 年龄为 134 Ma,最近姚军明等(2005)获得了 162 Ma 的花岗斑岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄数据。有关该矿床的成矿时代,谷俐(1997)进行过研究,获得的矽卡岩中金云母、磁铁矿和方铅矿的年龄分别在 153~157 Ma(K-Ar 法)、150~160 Ma 和 90~170 Ma 之间。从以上数据可以看出,岩体的形成年龄(118~164 Ma)和成矿年龄(90~170 Ma)变化较大,且同一岩性采用不同测试方法甚至同一方法得到的结果也不一致,对于成矿究竟与哪种岩石相关存在争议。众所周知,通过间接方法只能给出成矿的大致时限,且对于成矿与成岩时差较大的矿床来说,用岩体年龄来代表矿化年龄还会导致错误结论,因而取得矿化年龄的可靠数据就显得十分必要。本文利用金属矿物——辉钼矿来直接测定该矿床的成矿时代尚属首次。

笔者在黄沙坪矿床井下 20 m 中段采集了矽卡岩型矿石,矿石矿物主要为辉钼矿和黄铜矿,脉石矿物主要为石榴子石。从中选取辉钼矿样品 5 个,在国家地质实验测试中心用 Re-Os 等时线法进行了年龄测定,并获得了(153.8 ± 4.8)Ma 的矿化年龄数据,本文结合部分岩石地球化学特征着重讨论这一

年龄的地质意义。

1 地质背景

黄沙坪铅锌多金属矿田位于南岭东西向复式构造带中段北缘与耒阳—临武南北向构造带的复合部位。地理上位于桂阳县城南部。矿区除东部出露部分上泥盆统外,主要为下石炭统地层,为一套海相—浅海相碳酸盐岩夹陆源碎屑岩沉积建造,岩性以碳酸盐岩为主,少量砂页岩。赋矿层位以石磴子组灰岩为主,次为测水组钙质砂岩和梓门桥组白云质灰岩,地层大致呈 NS 向及 NNE 向展布,向东倾斜(图 1)。

矿田主干构造为走向南北、倾向东的 F_1 、 F_2 、 F_3 3 条推覆大断裂与向西倒转的观音打坐—宝岭复式背斜,另有一组以 F_0 、 F_6 、 F_9 为主的近东西向构造,它们与南北向断裂一起将矿区分割成“井”字形。矿区次级褶皱、断裂也十分发育。这些断裂构造与倒转背斜共同控制了岩体的侵位,因而也是矿区的控矿构造。

矿田内岩浆岩十分发育,岩体成群分布,岩石类型包括石英斑岩、花岗斑岩和英安质石英斑岩等,均为浅成—超浅成侵入体。主要岩体是隐伏于倒转背斜核部的花岗斑岩,其次是沿断裂侵入呈漏斗状的石英斑岩、英安质石英斑岩。围岩蚀变发育,主要蚀变类型有矽卡岩化、黄铁绢英岩化、大理岩化、绿泥石化和硅化等。

矿区内已发现数百个矿体,其中工业矿体 100 多个,大小不等,沿走向最大长度 600 m,一般 200~400 m,厚度大者达 30 m,一般在 4~10 m 间。矿体形态十分复杂,受岩体接触带及断裂构造控制明显,主要呈透镜状、扁豆状、似层状、脉状和环带状。矿石的矿物成分十分复杂,主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等;脉石矿物有方解石、石英、萤石、绢云母、绿泥石等。

2 测试方法及测试结果

2.1 样品及测试方法

含辉钼矿的矽卡岩型矿石采自黄沙坪矿床井下 20 m 中段的不同空间位置。辉钼矿是用刀片及骨针等小工具直接从手标本上挑选的,从手标本上剥

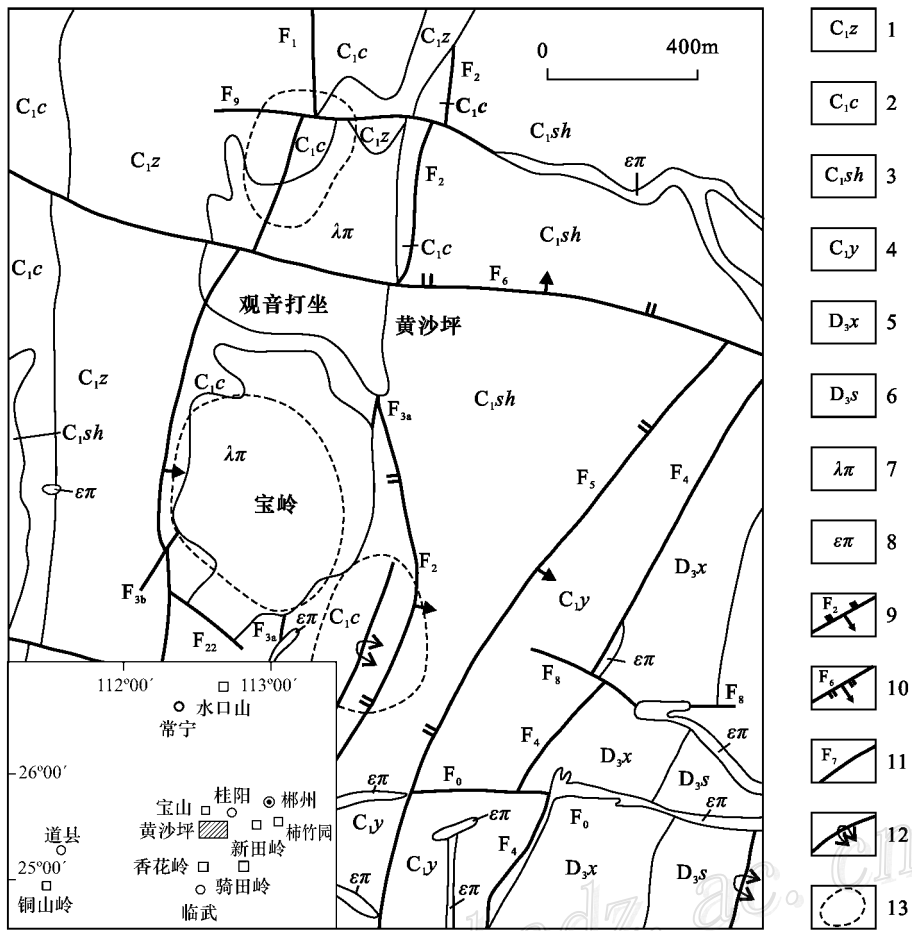


图 1 黄沙坪矿区地质略图(据朱恩静等,1995)

1—下石炭统梓门桥组白云岩;2—下石炭统测水组钙质砂岩;3—下石炭统石碇子组灰岩;4—下石炭统有关阶灰岩及页岩;5—上泥盆统锡矿山组灰岩及白云岩;6—上泥盆组余田桥组灰岩;7—燕山期石英斑岩;8—燕山期英安斑岩;9—逆断层及编号;10—正断层及编号;11—性质不明断层及编号;12—倒转背斜;13—隐伏花岗岩体投影

Fig. 1 Geological sketch map of the Huangshaping lead-zinc deposit (after Zhu et al., 1995)

1—Dolomitite of Lower Carboniferous Zimenqiao Formation; 2—Calcareous sandstone of Lower Carboniferous Ceshui Formation; 3—Limestone of Lower Carboniferous Shidengzi Formation; 4—Limestone and shale of Lower Carboniferous Yanguan Formation; 5—Limestone and dolomitite of Upper Devonian Xikuangshan Formation; 6—Limestone of Upper Devonian Shetianqiao Formation; 7—Yanshanian quartz porphyry; 8—Yanshanian dacite porphyry; 9—Reverse fault and its serial number; 10—Normal fault and its serial number; 11—Indeterminate fault and its serial number; 12—Overturned anticline; 13—Projections of concealed granite

离后在实体显微镜下做进一步的检查与选纯,送测样品纯度达 98% 以上。

Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心完成,采用 Carius 管封闭溶样分解样品,Re 和 Os 的分离等化学处理过程及质谱测试过程参见文献(Shirey et al., 1995; 杜安道等, 2001; 屈文俊等, 2003)。

采用美国 TJA 公司生产的 TJA PQ EXCell ICPMS(电感耦合等离子体质谱仪)测定 Re 同位素和 Os 同位素比值。本实验全流程空白 Re 为 0.7

pg, Os_普 为 1.0 ng, ¹⁸⁷Os 为 0.4 pg。Re、Os 空白远低于样品含量,因而对测试结果不会有显著的影响。随此次流程测定的标准样的分析结果列于表 1 中。

2.2 测试结果

黄沙坪矿区 Re-Os 同位素测定结果见表 2。由表 2 可见,辉钼矿中 Re 的含量在 (3 107~46 826) × 10⁻⁹ 之间, ¹⁸⁷Re 含量在 (1 953~29 433) × 10⁻⁹ 之间, ¹⁸⁷Os 含量在 (5.395~75.77) × 10⁻⁹ 之间。模式年龄除 HSP-8-4 为 199 Ma 外,其余 4 个点分布在 154~161 Ma 之间。用 Isoplot 软件计算了所测 5 个

表 1 Re-Os 同位素标样分析结果
Table 1 Re-Os isotope analyses of Reference Materials

标准名称	Re/10 ⁻⁶		¹⁸⁷ Os/10 ⁻⁹		模式年龄/Ma	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
GBW04435(HLP)						
测定值	282.686	2.666	654.4	5.7	220.7	3.0
证书值*	283.8	6.2	659	14	221.4	5.6
GBW04436(JDC)						
测定值	17.023	0.143	25.29	0.19	141.7	1.7
证书值*	17.39	0.32	25.46	0.60	139.6	3.8

* 证书值据 Du et al. 2004。

表 2 黄沙坪矿区含矿矽卡岩中辉钼矿的 Re-Os 同位素组成
Table 2 Re-Os isotope compositions of molybdenite in skarn from the Huangshaping ore district

原始样号	Re/10 ⁻⁹		¹⁸⁷ Re/10 ⁻⁹		¹⁸⁷ Os/10 ⁻⁹		模式年龄/Ma	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
HSP-8-2	46826	405	29433	254	75.77	0.56	154.3	1.9
HSP-8-3	3887	33	2443	21	6.337	0.047	155.5	1.9
HSP-8-4	10774	98	6772	61	22.49	0.19	199.0	2.6
HSP-8-5	3107	31	1953	20	5.395	0.042	165.6	2.2
HSP-8-6	6800	58	4274	36	11.478	0.086	161.0	2.0

Re₂O₃ 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平为 95%。模式年龄通过下列公式计算得到: $t = \frac{1}{\lambda} \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$, 其中 λ 是 ¹⁸⁷Re 的衰变常数, $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。

点的等时线年龄为(153 ± 21) Ma。因 HSP-8-4 相对离群,剔除该点后的等时线年龄为(153.8 ± 4.8) Ma (MSWD = 29) (图 2A),模式年龄的加权平均值为(159 ± 8) Ma (MSWD = 6.5) (图 2B)。两者在误差范围内一致。从 MSWD 值及拟合概率来看,其等时线年龄及加权平均模式年龄都是可靠的。等时线的截距接近 0 点,说明辉钼矿中不存在普通钼,¹⁸⁷Os 都是 ¹⁸⁷Re 的衰变产物,这符合计算模式年龄的条件。因而也说明了所获得的模式年龄是有效的。一般认为模式年龄代表同位素与母体分离的时间,而等时线年龄则是同位素体系最后均一化的时间。因此上述 Re-Os 等时线年龄代表了成矿年龄。

3 成矿年龄的确定及其地质意义

3.1 成矿年龄的确定

黄沙坪矿床的成矿时代前人研究较少,只有谷俐(1997)测得矽卡岩中蚀变矿物金云母、磁铁矿和方铅矿的年龄分别为 153~157 Ma (K-Ar 法), 150~160 Ma 和 90~170 Ma。众所周知,辉钼矿广泛发育于与酸性岩有关的高、中温热液矿床中,是直接的矿

化产物,因此反映的年龄应代表真实的矿化年龄。本次所测的辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为(153.8 ± 4.8) Ma,与矽卡岩中金云母的 K-Ar 年龄(153~157 Ma)在误差范围内一致。并且这一年龄也与区域上一些钨锡多金属矿的形成年龄接近,如湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿的辉钼矿 Re-Os 年龄为(151.1 ± 3.5) Ma (李红艳等, 1996),云英岩矿脉中云母的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为(153.4 ± 0.2) Ma (毛景文等, 2004); 湖南瑶岗仙钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄为(154.9 ± 0.4) Ma,含石英脉中金云母和白云母的 Ar-Ar 坪年龄分别为(153.0 ± 1.1) Ma 和(155.1 ± 1.1) Ma (Peng et al., 2006) 湖南香花岭塘官铺云英岩型锡多金属矿床中白云母 Ar-Ar 坪年龄为(154.4 ± 1.1) Ma (Yuan et al., 2007) 湘南九嶷山大坳钨锡矿床云英岩石英脉型钨锡矿中辉钼矿 Re-Os 年龄为(151.3 ± 2.4) Ma (付建明等, 2007)。因此,将黄沙坪铅锌多金属矿的成矿年龄厘定在 154 Ma 左右是合适的。

3.2 成矿作用与成岩作用的关系

为了讨论成矿与成岩之间的关系,笔者对部分测年样品(含辉钼矿矽卡岩)及黄沙坪岩体(花岗斑岩及石英斑岩)进行了稀土元素及微量元素分析(表

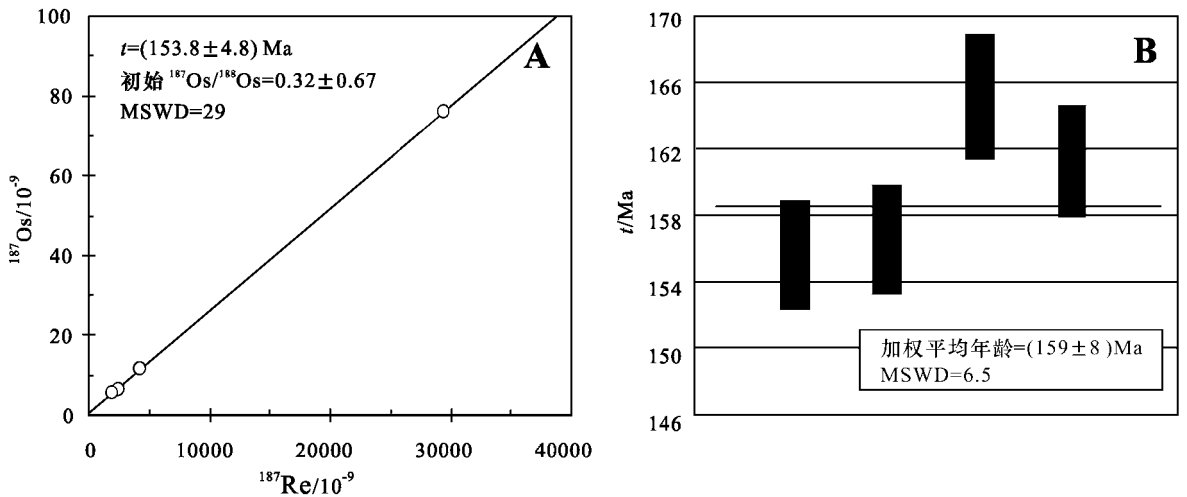


图 2 黄沙坪矿区含矿砂卡岩中辉钼矿的 Re-Os 等时线 (A) 与模式年龄加权平均 (B) 图

Fig. 2 Isochron diagram (A) and weighted average of model age (B) of Re-Os isotopes for molybdenite in skarn from the Huangshaping ore field

3) 结合姚军明等 (2005) 对黄沙坪岩体所做的常量元素分析数据, 现一并讨论如下: 按岩石化学组成, 黄沙坪岩体属酸性岩类, 其 $w(\text{SiO}_2)$ 为 71.9% ~ 75.54%、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 2.64% ~ 7.6%、 $w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 5.62% ~ 8.73%, 岩体以高钾、高硅、高 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值 (1.3 ~ 6.9)、低磷为特征, ACNK 值平均为 1.01 (0.94 ~ 1.26) (姚军明等,

2005), 整体上属弱过铝的高钾钙碱性岩石。岩石的 REE 总量较高, $\Sigma\text{REE} = 107.93 \times 10^{-6} \sim 160.62 \times 10^{-6}$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 1.50 \sim 4.19$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 0.81 \sim 3.48$, 矿石的 REE 总量稍低, $\Sigma\text{REE} = 39.81 \times 10^{-6} \sim 107.70 \times 10^{-6}$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2 \sim 5.18$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.09 \sim 4.28$ 。稀土元素配分型式图 (图 3A) 呈明显的“海鸥型”, 具有明显的 Eu 负异常, δEu

表 3 黄沙坪岩体及含辉钼矿砂卡岩的稀土与微量元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Rare earth element and trace element contents of skarn and granodiorite from Huangshaping ($w_B/10^{-6}$)

元素	花岗斑岩		石英斑岩		含辉钼矿砂卡岩		元素	花岗斑岩		石英斑岩		含辉钼矿砂卡岩	
	HSP-3-7	HSP-3-11	HSP-5-2	HSP-5-11	HSP-6-6	HSP-8-3H		HHSP-3-7	HSP-3-11	HSP-5-2	HSP-5-11	HSP-6-6	HSP-8-3H
La	16.50	14.90	22.10	15.60	21.0	3.55	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	0.90	0.81	3.48	2.25	4.28	1.09
Ce	42.20	37.50	49.00	34.50	48.70	9.24	δEu	0.01	0.01	0.04	0.08	0.10	0.12
Pr	6.11	5.46	6.26	4.70	4.9	1.58	Y	112.00	123.00	40.60	44.20	30.20	22.40
Nd	25.90	24.10	24.30	19.70	13.10	8.93	Zr	102.00	104.00	110.00	117.00	110.00	136.00
Sm	10.10	9.60	6.33	5.76	2.48	3.10	Hf	8.52	8.38	5.69	5.74	5.15	4.99
Eu	0.03	0.03	0.09	0.16	0.10	0.12	K^{**}	3.62	4.31	6.57	6.58	0.028	0.25
Gd	11.10	10.90	6.21	6.24	3.52	3.03	Ti	103.00	27.20	529.00	1139.00	718.00	834.00
Tb	2.34	2.38	1.12	1.17	0.67	0.60	P	23.20	17.80	55.30	170.00	98.10	169.00
Dy	15.70	16.10	6.87	7.46	4.53	3.65	Rb	699.00	842.00	694.00	592.00	5.32	33.30
Ho	3.18	3.29	1.40	1.51	0.95	0.73	Sr	12.40	15.60	39.40	85.60	20.10	5.97
Er	10.60	11.10	4.33	4.69	3.19	2.27	Nb	87.20	97.60	47.70	48.40	43.10	26.50
Tm	1.78	1.86	0.65	0.71	0.51	0.35	Ba	9.20	11.10	69.2	86.8	2.17	3.83
Yb	13.10	13.20	4.55	4.97	3.52	2.33	Ta	17.30	18.30	4.85	4.65	4.14	2.84
Lu	1.98	2.05	0.67	0.76	0.53	0.33	Th	39.10	41.80	40.30	35.90	15.80	26.60
ΣREE	160.62	152.47	133.88	107.93	107.70	39.81	U	31.70	16.30	12.00	12.50	12.30	3.62
$\text{LREE}/\text{HREE}^*$	1.69	1.50	4.19	2.92	5.18	2.00							

* 单位为 1; ** 单位为 %。分析单位: 国家地质实验测试中心; 方法依据: DZ/T0223-2001、JY/T015-1996; 检测仪器: 电感耦合等离子体光谱仪 (ICP-AES); TJA-IRIS; 电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS); X-series; 方法精密度 $\text{RSD} < 10\%$ 。

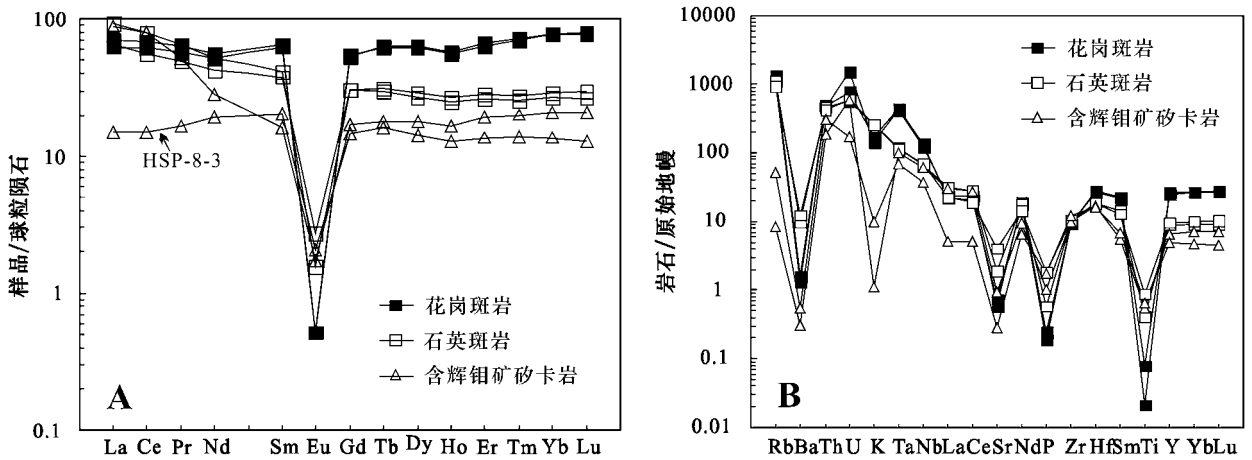


图3 黄沙坪矿区花岗斑岩、石英斑岩极含辉钼矿矽卡岩的稀土元素球粒陨石标准化分布曲线(A)与微量元素原始地幔标准化蛛网图(B) 球粒陨石和原始地幔数据据 Sun et al., 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE diagrams (A) and primitive-mantle-normalized trace element spidergrams for granodiorite porphyry, quartz porphyry and skarn from Huangshaping (normalized chondrite and MORB after Sun et al., 1989)

变化在 0.01~0.12 之间,平均为 0.06。在微量元素特征(图 3B)方面,岩体与矿石富集 Rb、Th、U、Ta、Nb 等,贫 Ba、Sr、P、Ti。在稀土元素配分型式上,含矿矽卡岩(特别是 HSP-8-3 样品)与花岗斑岩极其相似,这一点在微量元素蛛网图上反映得更加清楚,花岗斑岩与含矿矽卡岩都有一个 Ta“峰”,而石英斑岩却没有。前已述及,已有的岩浆岩成岩年龄主要采用 K-Ar 法和 Rb-Sr 法获得的,年龄数据(118~163 Ma 之间)变化大,可信度较差。姚军明等(2005)利用高精度的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法,精确地限定了花岗斑岩的成岩年龄为 162 Ma。与成矿年龄 154 Ma 在误差范围内比较接近,因此,笔者认为矿化作用可能与花岗斑岩的关系更为密切,它们可能都是华南燕山早期大规模成岩成矿作用高峰期(毛景文等,2000)的产物。

4 结论

通过对黄沙坪铅锌多金属矿床含矿矽卡岩 Re-Os 同位素年代学和黄沙坪花岗质岩石及含矿矽卡岩地球化学特征的研究,得出以下主要认识:

- (1) 黄沙坪铅锌多金属矿床的成矿年龄为 (153.8 ± 4.8) Ma, 形成于燕山早期。
- (2) 黄沙坪铅锌多金属矿床的成矿作用与花岗斑岩关系密切,它们都是华南燕山早期大规模成岩成矿作用高峰期的产物。

致谢 野外工作得到湖南省有色地质勘查研究院及黄沙坪矿全体工作人员等的大力帮助,在本文成文过程中得到李华芹研究员的指导和帮助,在此一并致谢!

References

- Deng S F. 1997. Zoning regularity of mineral assemblages in the Huangshaping lead-zinc deposit [J]. *Mineral Resources and Geology*, 11 (61): 314~318 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Markey R, Stein H, Morgan J and Malinovsky D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials molybdenite HLP and JD [J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41~52.
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247~252 (in Chinese with English abstract).
- Fu J M, Li H Q, Qu W J, Yang X J, Wei J Q, Liu G Q and Ma L Y. 2007. Re-Os isotope dating for the Da'ao tungsten-tin deposit in Jiuyishan area, southern Hunan Province [J]. *Geology in China* (in press).
- Gu L. 1997. On the genesis of the lead-zinc polymetallic deposit in Huangshaping [J]. *Hunan geology*, 16(4): 234~238 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Hunan [J]. *Geological Review*, 42(3): 261~267 (in Chinese with English abstract).
- Li S J. 1997. A simple explanation to ore-controlling structure characters and ore-forming process analysis of Huangshaping Pb-Zn deposit in Hunan province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(4): 339~

- 345 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W and Wang Z L. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China [J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289~296 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extensions from South China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45~56 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, Shen N P, Yuan S D, Bi X W, Du A D and Qu W J. 2006. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China [J]. *Mineralium Deposita*, 41: 661~669.
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254~257 (in Chinese with English abstract).
- Shen S. 1999. Ore matter composition and deposit factors-controlled of copper deposit in Huangshaping ore field [J]. *Hunan Geology*, 18(2-3): 75~78 (in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis [J]. *Anal. Chem.*, 67: 2136~2141.
- Smoliar M L, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A, III a, IV A and VI B iron meteorites [J]. *Science*, 271: 1099~1102.
- Song X Y, Zhang Z J, Lin J H and Wang X. 1999. Mechanism of Fe²⁺ occupancy of the marmatite in the inner zone of the Huangshaping Pb-Zn deposit, Hunan [J]. *Geology and Prospecting*, 35(2): 21~24 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process [A]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42: 313~354.
- Tong Q M, Jiang S Z, Li R Q, Gong M Y, Wang S M and Huang R M. 1986. A study of geological characteristics and ore forming process of the Huangshaping Pb-Zn ore deposit, Hunan [J]. *Hunan Geology*, 2(Sup): 1~42 (in Chinese with English abstract).
- Yang S Y, Liu H Q, Zhang X L and Chen C J. 1986. A study of two types of porphyry in Baoping district, south Hunan and their mineralization [A]. In: Yichang Institute of Geology and Mineral Resources and Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, ed. *Contributions to Geology and Mineral Resources of the Nanling Area* (No. 2) [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 157~167 (in Chinese with English abstract).
- Yao J M, Hua R M and Lin J F. 2005. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in south-east Hunan Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688~696 (in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z and Dai T M. 2007. ⁴⁰Ar-³⁹Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in southern Hunan and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica* (in press).
- Zeng Z X. 2001. Geological characteristics and genesis of the copper deposit of the Huangshaping ore field [J]. *Hunan Nonferrous Metals*, 17(3): 8~9, 43 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Z C. 1996. Magma rocks and their ore-controlling characteristics in the Huangshaping mining area [J]. *Mineral Resources and Geology*, 10(56): 400~405 (in Chinese with English abstract).
- Zhu E J, Wang J G and Qiu Y M. 1995. The distribution regularity and occurrence of the associated silver in the Huangshaping Pb-Zn ore field, Hunan Province [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 4(2): 89~95 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓圣富. 1997. 黄沙坪矿床矿物组合分带规律研究 [J]. *矿产与地质*, 11(61): 314~318.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿-钨同位素地质年龄 [J]. *岩矿测试*, 20(4): 247~252.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 杨晓君, 魏君奇, 刘国庆, 马丽艳. 2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究 [J]. *中国地质* (待刊).
- 谷 俐. 1997. 黄沙坪铅锌多金属矿床的成因分析 [J]. *湖南地质*, 16(4): 234~238.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邹晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究 [J]. *地质论评*, 42(3): 261~267.
- 李石锦. 1997. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿床构造控矿特征及成矿浅析 [J]. *大地构造与成矿学*, 21(4): 339~345.
- 毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨 [J]. *矿床地质*, 19(4): 289~296.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展 [J]. *地学前缘*, 11(2): 45~56.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿-钨地质年龄 [J]. *岩矿测试*, 22(4): 254~257.
- 申 珊. 1999. 黄沙坪矿田铜矿床岩石物质成份及控矿因素 [J]. *湖南地质*, 18(2-3): 75~78.
- 宋谢炎, 张正阶, 林金辉, 王 仙. 1999. 湖南黄沙坪铅锌矿床内带铁闪锌矿铁占位机制的探讨 [J]. *地质与勘探*, 35(2): 21~24.
- 童潜明, 姜胜章, 李荣清, 龚茂杨, 王世明, 黄日明. 1986. 湖南黄沙坪铅锌矿床地质特征及成矿规律研究 [J]. *湖南地质*, 2(增刊): 1~42.
- 杨世义, 刘娟群, 张秀兰, 陈长江. 1986. 湖南宝坪地区两类斑岩及其成矿作用的研究 [A]. 见: 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所, 中国地质科学院矿床地质研究所, 编. *南岭地质矿产文集 (第二集)* [C]. 北京: 地质出版社. 157~167.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征 [J]. *岩石学报*, 21(3): 688~696.
- 曾志雄. 2001. 黄沙坪矿田铜矿地质特征及成因分析 [J]. *湖南有色金属*, 17(3): 8~9, 43.
- 钟正春. 1996. 黄沙坪矿区岩浆岩及其控矿特征 [J]. *矿产与地质*, 10(56): 400~405.
- 朱恩静, 王建国, 邱玉民. 1995. 湖南黄沙坪铅锌矿伴生银的赋存状态及分布规律 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 4(2): 89~95.