

文章编号:0258-7106(2005)03-0317-08

云南会泽铅锌矿床粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义*

张长青¹,毛景文^{1,2},刘峰²,李厚民^{1,2}

(1 中国地质大学,北京 100083;2 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要 文章应用 K-Ar 法测得会泽铅锌矿床矿体中的蚀变粘土矿物年龄为(176.5 ± 2.5) Ma,该年龄为成矿作用第一阶段黄铁矿形成的年龄,略早于第二阶段方铅矿、闪锌矿和方解石的形成年龄。该年龄表明这些铅锌矿床的形成与峨眉山玄武岩浆活动(251 ~ 262 Ma)有明显的时间间隔,而可能为特提斯板块向大陆俯冲期间在大陆边缘岩浆弧后伸展带形成的 MVT 矿床。

关键词 地球化学;K-Ar 年龄;粘土矿物;成矿作用;会泽铅锌矿;云南

中图分类号: P619.23⁺¹;P597⁺¹.1

文献标识码: A

在扬子地块西南缘川、滇、黔地区广泛发育以碳酸盐岩为容矿岩石的铅锌矿床,云南会泽铅锌矿床就是其中的典型代表,现已探明该矿床的铅锌储量为 300 万吨,品位 25% ~ 35%。由于这类铅锌矿赋存在震旦纪到二叠纪的碳酸盐岩地层中,矿体主要受层间断裂的控制,在矿区及外围很少有岩浆活动,因此,对其成因争议较大。许多学者提出了不同的成矿模式,如:岩浆-热液成因(中国地质科学院矿床地质研究所,1989)、沉积原地改造成因(陈士杰,1986)、沉积-改造成因(张位及,1984;廖文,1984;赵准,1995)、沉积-成岩期后热液改造-叠加成因(陈进,1993)、沉积-改造-后成成因(柳贺昌等,1999)、贯入-萃取-控制成因(韩润生等,2001)和“均一化流体贯入”成因(黄智龙等,2004)。最近几年,对矿床成因的认识越来越趋于一致,普遍认为属密西西比河谷型矿床(MVT 矿床)(王小春,1990;Zhou et al.,2001;王奖臻等,2001)。还有一些学者考虑到流体能源驱动的问题,试图将这种类型矿床的形成与峨眉山玄武岩的喷溢事件联系在一起(廖文,1984;张云湘等,1988;沈苏等,1988;陈进,1993;郑传仑,1994;管士平等,1999;韩润生等^①,2000;胡耀国,2000;黄智龙等,2001)。

解决这类矿床的成因问题的关键是准确厘定成矿时代。以往采用铅同位素方法获得的数据相当分

散(王华云,1993;林方成,1995;高子英,1997)。最近,李文博等(2004)对会泽铅锌矿床矿石中的脉石矿物方解石进行了 Sm-Nd 等时线年龄测定,获得两组等时线年龄分别为:麒麟厂矿床(226 ± 15) Ma,矿山厂矿床(225 ± 38) Ma。由于方解石中的 Sm 和 Nd 含量极低,这一年龄的可信度仍然受到质疑。笔者最近在会泽铅锌矿床矿体中找到了蚀变粘土矿物(自生伊利石),尝试采用 K-Ar 法来确定其成矿时代。

1 区域地质和矿床基本特征

1.1 区域构造背景

中国川、滇、黔交界地区在太古宙—中元古代形成了以中-低变质岩为主的褶皱基底;晋宁运动以后本区进入了被动大陆边缘演化阶段(张云湘等,1988),自震旦纪至三叠纪总体上处于拉张状态,属于地裂发展旋回(杨应选等,1994)。晚震旦世开始由于古上扬子海的不断海侵,该区出现了一个广阔的浅海台地(夏文杰等,1994),开始接受海相沉积,形成了一套以震旦纪碳酸盐岩为主的沉积地层;寒武纪—二叠纪,本区大部分地区接受沉积,部分地区由于地壳的抬升缺失上奥陶统—石炭系。二叠纪本区进入深部地幔物质上涌阶段,火山喷发形成了峨眉山溢流玄武岩;晚二叠世晚期至早—中三叠世又

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目(200310200002)和国家重点基础研究发展规划项目(G1999043211)的资助

第一作者简介 张长青,男,1975年生,中国地质大学(北京)硕士研究生,从事岩石、矿物、矿床学研究。通讯地址:北京市海淀区学院路29号S00203信箱,邮政编码:100083。E-mail:zcqchangqing@sina.com

收稿日期 2005-03-21;改回日期 2005-04-29。李岩编辑。

① 韩润生,李元,陈进,等.2000.会泽铅锌矿床深部找矿预测研究.昆明理工大学科研报告.

为一次海侵过程,本区部分地区接受碎屑沉积,三叠纪末期,印支运动使其应力状态由拉张转为挤压,形成了一个大型前陆盆地——四川盆地。晚三叠世末期,随着北特提斯边缘海盆的关闭,攀西裂谷盆地转化为内陆凹陷盆地(张云湘等,1988);晚三叠世对扬子地台西部边缘构造带来说,是重要的奠定构造格架的时期,经历了一个由拉张到挤压的完整的构造旋回(云南省地质矿产局,1990)。在侏罗纪,扬子地台西缘仍受到来自西古特提斯洋演化的强烈影响。该区位于特提斯板块向大陆俯冲的大陆边缘岩浆弧后伸展带上,构造运动总的趋势是间歇性的抬升,为大陆内部的发展阶段,以陆相沉积为主,属台地型沉积(地质矿产部成都地质矿产研究所,1987)。至早白垩世,西侧的甘孜陆块及盐源—丽江断块向攀西—滇中推覆碰撞,形成龙门山—锦屏山造山带,到始新世时,印度板块在喜马拉雅期向欧洲大陆的俯冲碰撞,导致龙门山—锦屏山造山带进一步隆升(王

臻等,2002)。也有学者认为哀牢山—龙门山—锦屏山造山带在新生代形成(张岳桥等,2004),中生代形成的山链已经消失。

1.2 矿床地质特征

1.2.1 地质概况

会泽铅锌矿床位于滇东北褶皱断东东缘之矿山厂—金牛厂构造带的北东端。矿区内发育有北东向褶皱及断层,断层及其附近是矿床空间分布的有利部位。

本区发育有一组北东向逆断层,呈叠瓦状产出,向南散开,往北收敛。这些逆断层被一系列北西向正断层所切割。发育的北东向断层主要有矿山厂、麒麟厂逆断层,并有近乎垂直于北东向断层的北西向断层伴生。矿区内北东向背斜与断层组合成破背斜构造,这些断层是矿床形成的重要控矿构造。矿区内的岩浆活动主要为晚二叠世陆相玄武岩喷发,在北部和西南部均可见玄武岩出露(图1)。

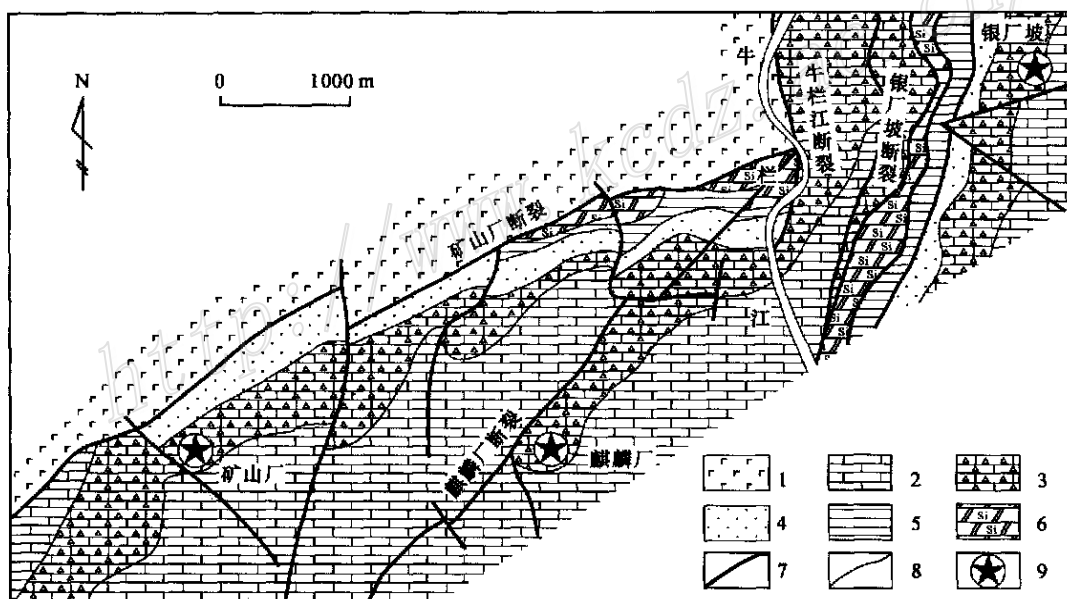


图1 云南会泽铅锌矿床地质简图(据黄智龙,2004)

1—二叠纪峨眉山玄武岩;2—二叠系,包括栖霞组-茅口组($P_1q + P_1m$)灰岩、白云质灰岩夹白云岩、梁山组(P_1l)碳质页岩和石英砂岩;3—石炭系,包括马平组(C_3m)角砾状灰岩、威宁组(C_2w)鲕状灰岩、摆佐组(C_1b)粗晶白云岩夹灰岩及白云质灰岩、大塘组(C_1d)隐晶质灰岩及鲕状灰岩;4—泥盆系,包括宰格组(D_3z)灰岩、硅质白云岩和白云岩,海口组(D_2h)粉砂岩和泥质页岩;5—寒武系,包括箐竹寺组(C_1q)泥质页岩夹砂质泥岩;6—震旦系,包括灯影组(Z_2d)硅质白云岩;7—断裂;8—地层界线;9—铅锌矿床

Fig.1 Geological map of the Huize Pb-Zn deposit(from Huang, 2004)

1—Permian Emeishan basalt; 2—Permian strata: Qixia-Maokou Formation ($P_1q + P_1m$) limestone and dolomitic limestone intercalated with dolomite; Liangshan Formation (P_1l) carbonaceous shale and quartz sandstone; 3—Carboniferous strata: Maping Formation (C_3m) brecciated limestone; Weining Formation (C_2w) oolitic limestone; Baizuo Formation (C_1b) coarse-crystalline dolomite intercalated with limestone and dolomitic limestone; Datang Formation (C_1d) cryptocrystalline and oolitic limestone; 4—Devonian strata: Zaige Formation (D_3z) limestone, siliceous dolomite and dolomite; Haikou Formation (D_2h) siltstone and argillaceous shale; 5—Cambrian strata: Qiongzhusi Formation (C_1q) argillaceous shale intercalated with arenaceous mudstone; 6—Sinian: Dengying Formation (Z_2d) siliceous dolomite; 7—Fault; 8—Stratigraphic boundary; 9—Lead-zinc deposit

1.2.2 矿床地质特征

(1) 矿体形态及产状

矿体主要赋存于下石炭统摆佐组粗晶白云岩中,以似层状、透镜状、囊状产出。矿体走向 NE 20°~30°,倾向 SE,倾角 60°~70°。矿体为盲矿体,分布于北东向层间断层带中。

(2) 成矿作用阶段

成矿作用可以划分为 2 个阶段,即黄铁矿阶段和方铅矿-闪锌矿-方解石阶段,前一阶段矿石主要由比较纯的细晶或微晶状黄铁矿组成,后一阶段矿石呈脉状或团块状叠加在黄铁矿矿石中,而且矿物结晶粒度粗,甚至呈巨晶状,具有分带性,从中心向外为方解石、闪锌矿到方铅矿。

(3) 矿石组成

矿石的化学组成以 Zn、Pb 为主,伴生元素为 Ge、Ag,其中 Ge 作为重要的战略金属具有利用价值。根据野外工作及矿石镜下鉴定,金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿,矿石品位高,脉石矿物为方解石、白云石、石英、重晶石等。

(4) 矿石结构

矿石结构主要有:粒状结构、交代残余结构、包含结构、压碎结构及揉皱结构等。粒状结构较普遍,包括自形粒状、半自形粒状和他形粒状结构及微晶粒状至粗晶粒状结构;矿石构造以块状和浸染状构造最为常见,此外还可见脉状及条带状构造。

(5) 围岩蚀变

围岩蚀变比较简单,有碳酸盐化、粘土化、黄铁矿化和绿泥石化等。矿体附近断层中黄铁矿化强烈,还可见硅化、碳酸盐化和绿泥石化。

2 样品及测试

2.1 样品及处理方法

粘土矿物样品采自会泽铅锌矿麒麟坑(坑口坐标 26°38'21.1" N, 103°44'37.2" E)1691 中段,1710 分层矿体内。该样品呈透镜状,为矿体中的夹石(图 2),与第一阶段矿化黄铁矿呈条带相间分布。在显微镜下可以见到粘土岩中有均一分布的微晶黄铁矿,粘土矿物与黄铁矿共生。粘土岩和黄铁矿矿石受到第二阶段方铅矿-闪锌矿-方解石的穿插(图 3)。

样品处理分为以下步骤:①用电子探针测试样品矿物成分,粘土矿物样品电子探针测试结果如表 1 所示。②将挑选出的粘土矿物样品,使用扫描电

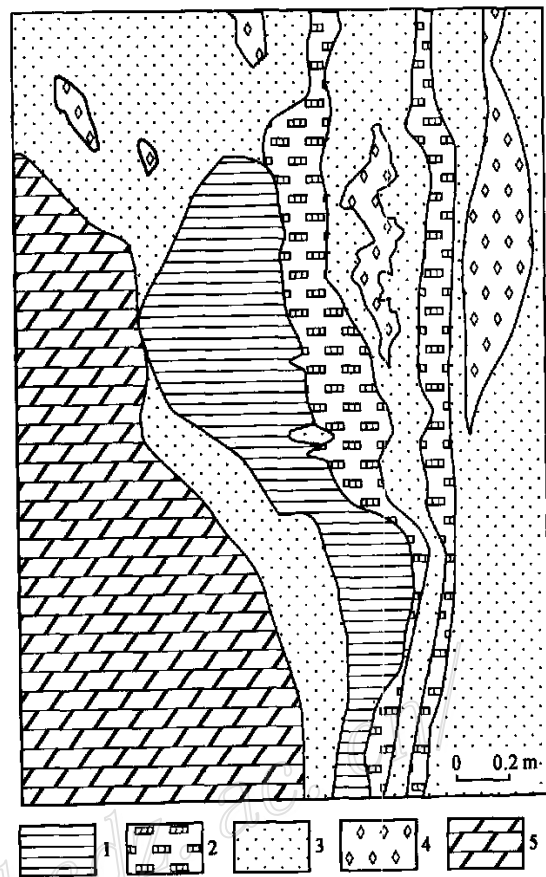


图 2 粘土矿物与矿体分布示意图

1—粘土矿物;2—黄铁矿;3—方铅矿-闪锌矿集合体;
4—方解石;5—围岩白云石

Fig. 2 Diagrammatic map showing the distribution of orebodies and altered clay minerals

1—Clay minerals; 2—Pyrite; 3—Galena-sphalerite;
4—Calcite; 5—Dolomite

镜和 X 射线衍射技术进行样品粘土矿物特征研究,得出测试样品岩性为泥岩;③应用真空抽滤并结合沉降分离和离心分离进行自生伊利石分离提纯:首先采用沉降技术和虹吸法分离出小于 2 μm 粒级的组分,沉降法可以把石英、长石、粗粒云母、碳酸盐矿物等与粘土分开(任磊夫,1992),然后采用微空滤膜抽滤或离心分离,依次分离出 1~2 μm、0.45~1 μm、0.3~0.45 μm、0.15~0.3 μm 和小于 0.15 μm 的粒级组分,本次提纯后用于测试的样品粒级为 0.3~0.15 μm;④检测钾含量,样品的钾含量由国家地质实验中心用原子吸收分光光度法测定,所用仪器为北京市第二光学仪器厂生产的 SH1 AAS9442 原子吸收光谱仪,方法为酸溶法,测量误差小于 0.1% (张有瑜等,2001),结果见表 2;⑤XRD(X 射线衍射分析)纯度检测,利用 XRD 峰值特征可将碎屑伊利

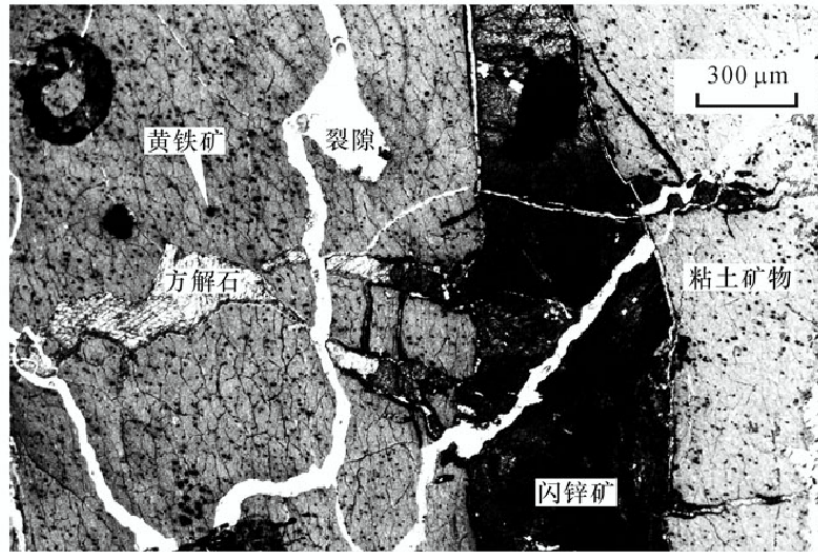


图3 粘土矿物显微镜下照片
正交偏光。闪锌矿、方解石穿插粘土岩裂隙,粘土矿物与黄铁矿(小黑点)共生

Fig.3 Photograph of clay minerals under microscope
sphalerite and calcite interpenetrated with clay minerals, pyrite associated with clay minerals, crossed polarized light

表1 会泽铅锌矿床矿体内粘土矿物(样号:HZD-4)电子探针成分测试结果

Table 1 Electron microprobe analyses of altered clay minerals (sample HZD-4) from the orebody of Huize deposit

测点	w(B) / %											总量
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	NiO	
1	49.03	0.65	29.64	2.07	1.03	0.04	0.18	0.13	10.47	0.06	0.14	93.44
2	49.26	0.62	28.57	2.32	1.16	0.03	0.27	0.10	10.93	0.05	0.07	93.38
3	48.88	1.23	29.71	1.92	1.03	0.00	0.26	0.01	10.79	0.06	0.00	93.89

测试单位:中国地质大学(北京)电子探针室,仪器型号:EPMA1600,测量精度:1.00 × 10⁻⁶。

表2 蚀变粘土岩矿物成分及钾含量分析结果

Table 2 The composition of altered clay mineral and the content of K

样品粒度/μm	XRD 测试			AAS 测试		
	粘土矿物相对含量 w(B) / %			I/S 间层比 / %	钾长石	w _K / %
	蒙皂石	伊蒙间层	高岭石			
0.3 ~ 0.15	2	97	1	5	未检出	6.84

石和自生伊利石区分开来(张有瑜等,2001),检测结果见表2。

2.2 测试结果

使用中国石油勘探开发研究院试验中心的MM5400行静态真空质谱计对挑选出的自生伊利石

进行氩同位素分析,当样品在约1500℃熔化的同时,加入准确定量的³⁸Ar稀释剂(纯度99%),测定混合稀释后的(⁴⁰Ar/³⁸Ar)_m和(³⁸Ar/³⁶Ar)_m,求出样品的放射成因⁴⁰Ar,根据样品钾的含量计算年龄,结果见表3。

表3 蚀变粘土矿物 K-Ar 同位素测年

Table 3 K-Ar dating of altered clay mineral

m/g	(⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁶ Ar) _m	⁴⁰ Ar* / (mol·g ⁻¹)	⁴⁰ K / (mol·g ⁻¹)	⁴⁰ Ar* / ⁴⁰ Ar / %	⁴⁰ Ar* / ⁴⁰ K	t / Ma
0.01275	290.98339	149.097002	2.200E-09	2.04E-09	98.05	0.0107740	176.5 ± 2.5

注:λ_c = 0.581 × 10⁻¹⁰a⁻¹; λ_p = 4.962 × 10⁻¹⁰a⁻¹; ⁴⁰K / K = 1.167 × 10⁻⁴。⁴⁰Ar* 为放射成因氩。

3 讨论与结论

本次测试结果为 (176.5 ± 2.5) Ma, 代表蚀变粘土矿物(自生伊利石)的形成年代(表 3)。本次测试提取出的样品粒级为: $0.3 \sim 0.15 \mu\text{m}$, 该粒级粘土矿物以伊蒙间层为主, XRD 检测各成分的相对含量为: 伊蒙间层 97%, 蒙皂石 2%, 高岭土 1%, 伊蒙层间比(I/S)为 5%, AAS 检测出钾含量 6.84%(表 2)。张有瑜等(2002)认为 I/S 间层比愈小, 含 K 量愈高, 愈接近伊利石, 意味着该 I/S 间层可能是由其陆源母体矿物——蒙皂石经较为彻底的蚀变而成, 也可能是由孔隙流体直接沉淀而成, 由此所测得的年龄主要反映的是成岩事件(成矿事件)的年代信息。由此推断所测得的年龄主要反映出第一阶段黄铁矿成矿事件的年龄信息。

精确测定自生伊利石的年龄需以下条件: ①样品未被污染。用于 K-Ar 测年的样品不能含有 K 的原生矿物, 否则会得到过高的 K-Ar 年龄值。因此, 样品须精细选择, 以减轻污染(白国平, 2000)。本次分选提纯后应用 XRD 检查, 未检测到钾长石的存在, 并且伊蒙间层比为 5%, 接近于纯的自生伊利石, 表明测试结果不受其他含钾碎屑成分的影响。②自生伊利石形成以来一直处于一个封闭的系统。若 Ar 从伊利石的晶格里扩散出来, 那么所测定的年龄将会偏小。长期高温($>150^\circ\text{C}$)环境会促进伊利石中的 Ar 向外扩散(白国平, 2000)。本次测试的样品产于矿体内部, 与围岩地层未发生物质交换, 另外会泽铅锌矿矿区在矿床形成之后, 未发生强烈的构造运动, 也未出现强烈的热液活动叠加, 故粘土矿物未被重新改造, 所测年龄应为粘土矿物的生成年龄, 代表了成矿早阶段年龄。

因此, 粘土矿物 K-Ar 年龄测定确定了会泽超大型铅锌矿床的蚀变岩的年龄为 (176.5 ± 2.5) Ma, 为中侏罗世的产物, 由于粘土矿物与黄铁矿共生, 又受闪锌矿、方解石脉的穿插, 这一年龄基本上代表了成矿年龄。

其次, 会泽麒麟厂矿床受北东向褶皱控制(柳贺昌等, 1999), 而且矿区外围中侏罗统遂宁组也卷入了褶皱, 因此矿床的形成应晚于中侏罗世(燕山早

期)。此外, 汉源唐家矿床充填于燕山期形成的北东向断层中(王奖臻, 2001)也证实了这一点。

这一测试结果与前人利用玄武岩铜矿中的矿化片沸石测定的一个 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄 $[(164.7 \pm 5.2)$ Ma, 朱炳泉等, 2003^①]接近, 说明川、滇、黔地区的密西西比河谷型铅锌矿与玄武岩铜矿可能是同一热事件的产物。

粘土矿物(如高岭石、伊利石、绿泥石等)是流体作用过程中水-岩反应的产物, 除了大量生成于风化、成岩等地质过程中外, 也是中低温条件下常见的热液蚀变矿物(Deer et al., 1962)。蒙皂石常以蚀变矿物形式出现于中低温热液蚀变广泛发育的矿床中, 含铁、镁、锌的蒙皂石也常以热液蚀变形式产出(杨雅秀等, 1994)。研究表明, 在以孔隙渗透为主的低渗透性环境中, 以流体为媒介的溶质迁移速度慢, 伊利石的形成主要通过原地交代长石、云母类矿物, 或由蒙皂石转变而生长在蒙皂石表面或层间, 在这种情况下多形成伊/蒙间层矿物和含膨胀层的伊利石(华仁民等, 2003)。会泽铅锌矿床的围岩以白云岩为主, 局部夹有泥质条带或团块。这些高钾富铅的物质在含矿热水溶液与之相互作用时, 蚀变形成粘土矿物组合, 为成矿时代的准确测定提供了条件。对于这类密西西比河谷型铅锌矿床, 可测年样品比较难得, 寻找蚀变粘土矿物是解决此类矿床定年的重要途径。利用组成蚀变岩的粘土矿物进行测年是厘定该类铅锌矿成矿时代的一条重要途径。

由于缺少成矿时代及成矿热事件, 近年来不少学者都尝试将以会泽铅锌矿为代表的密西西比河谷型铅锌矿床的形成与峨眉山玄武岩的喷溢事件联系在一起。廖文(1984)、陈进(1993)、郑传仑(1994)和韩润生等(2001)认为峨眉山玄武岩在成矿过程中提供成矿物质; 张云湘等(1988)、沈苏等(1988)、胡耀国(2000)认为峨眉山玄武岩为成矿提供了热动力; 王登红(2001)也认为峨眉山玄武岩分布区外围的热液型 Pb-Zn 矿床具有一定的分带性, 这可能与峨眉山慢柱活动导致的矿床被破坏和成矿元素的迁移、重新组合形成新的矿床和矿集区有关。但笔者认为, 由于峨眉山玄武岩是地幔柱的产物(张招崇等, 2001), 其物质组成以富过渡元素、铂族元素及铜为特征, 而会泽铅锌矿则富铅、锌、硫, 两者物源似乎

① 朱炳泉, 戴潼潼, 胡耀国, 等. 2003. 滇东北自然铜矿化的阳起石-沸石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. 见: 中国地质学会同位素地质专业委员会、国土资源部同位素地质重点实验室, 编. 同位素地质新进展: 技术、方法、理论与应用学术研讨会论文集(摘要)集. 148p.

不同。本文所测年龄为特提斯板块向大陆俯冲时期,侏罗纪以来本区为一个构造格架形成后的挤压后伸展阶段,板块俯冲为大陆边缘岩浆弧后伸展带提供热源,促使上地壳物质对流循环,热卤水活跃,溶滤、萃取各地层中的矿质并与向下运移的大气降水混合发生大规模的流体作用。主干逆断层为矿液运移通道,当上升的成矿流体物理化学性质变化,或因能量突然释放、不同性质的水溶液加入,或者成矿流体与化学活性强的围岩发生反应时,铅锌等重金属元素就以硫化物的形式从含矿热卤水中不断沉淀析出,充填在断裂或碳酸盐岩地层中的溶洞或层状、似层状裂隙中成矿。此次粘土矿物 K-Ar 年龄的测定将为川、滇、黔铅锌矿床的形成与峨眉山玄武岩之间的关系的认识提供新的客观依据,由于该年龄与峨眉山玄武岩喷发的年龄(251 ~ 262 Ma)(Zhou et al., 2002; Lo et al., 2002)相差将近 80 Ma,推测峨眉山地幔活动与川、滇、黔地区铅锌矿床的形成关系并不十分密切,它虽然可能为铅锌矿床提供了少量物质来源,但不能为中侏罗世的铅锌矿床形成直接提供热源。

致谢 本次研究的野外工作得到会泽铅锌矿床地质科和资源接替指挥部的大力支持,特别得到了高德荣、吴代成等地质师的指导和帮助,样品由中国石油天然气股份有限公司中国石油勘探开发研究院试验中心测试,在此一并表示诚挚的感谢。

References

- Bai G P. 2000. Application of K-Ar dating technique determination of timing of oil/gas entrapments[J]. *J. Univ. Petroleum of China (Edition of Nature Science)*, 24(4): 100 ~ 104 (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Yunnan Province. 1990. Regional geology of Yunnan Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 572 ~ 609 (in Chinese).
- Chen J. 1993. Discussion on genesis of Pb-Zn sulfide ores from Qilin-chang deposit significance[J]. *Geol. Explor. Non-ferrous Metals*, 2(2): 85 ~ 89 (in Chinese).
- Chen S J. 1986. Research on the genesis of lead-zinc ore-deposit in Western Guizhou and Northeastern Yunnan[J]. *Guizhou Geol.*, 8(3): 41 ~ 48 (in Chinese with English abstract).
- Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources. 1987. On the tectonic evolution of the west margin of the Yangzi block[M]. Chongqing: Chongqing Pub. House. 121 ~ 147 (in Chinese).
- Deer E A, Howie R A and Iussman J. 1962. Rock-forming minerals: Sheet silicates[M]. London: Longman. 270p.
- Gao Z Y. 1997. Characteristics of Pb isotope in main Pb-Zn deposits of Yunnan[J]. *Yunnan Geol.*, 16(4): 259 ~ 367 (in Chinese with English abstract).
- Guan S P and Li Z X. 1999. REE geochemistry of rocks and lead-zinc ores at the eastern margin of Kangdian axis[J]. *Geol. Geochem.*, 27(3): 5 ~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. 2001c. Genesis modeling of Huize lead-zinc ore deposit in Yunnan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 674 ~ 680 (in Chinese with English abstract).
- Hu Y G. 2000. Occurrence of silver, sources of mineralized substances and ore-forming mechanism of Yinchangpo silver-poly-metallic deposit, Guizhou Province, China [dissertation for doctor degree][D]. Tutor: Tu G Z, Li Z Y. Institute of Geochemistry, CAS. 88p (in Chinese).
- Hua R M, Li X F, Zhang K P, et al. 2003. Characteristics of clay minerals derived from hydrothermal alteration in Jinshan gold deposit: Implication for the environment of water-rock interaction[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 23(1): 23 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Chen J, Liu C Q, et al. 2001. A preliminary discussion in the genetic relationship between Emeishan basalts and Pb-Zn deposits as exemplified by the Huize Pb-Zn deposit, Yunnan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 681 ~ 688 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z L, Li W B, Chen J, et al. 2004. Carbon and oxygen isotope geochemistry of the Huize superlarge Pb-Zn deposits in Yunnan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1): 53 ~ 59 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Mineral Deposits, CAGS. 1989. Ore deposits of China[M]. Beijing: Academically Books and Periodicals Pub. House (in Chinese).
- Li W B, Huang Z L, Wang Y X, et al. 2004. Age of the giant Huize Zn-Pb deposit determined by Sm-Nd dating of hydrothermal calcite[J]. *Geol. Rev.*, 50(2): 189 ~ 195 (in Chinese with English abstract).
- Liao W. 1984. Characteristics of S, Pb isotopic composition and discussion on genesis of the Pb-Zn metallic deposit in Eastern and Western Yunnan[J]. *Geol. & Prosp.*, (1): 1 ~ 6 (in Chinese).
- Lin F C. 1995. Lead isotopic composition and genesis of the lead-zinc deposits on the eastern margin of the Kang-Dian Axis[J]. *Tethyan Geol.*, 19: 131 ~ 139 (in Chinese with English abstract).
- Liu H C and Lin W D. 1999. Study on metallogenetic laws of lead-zinc-silver deposits in Northeast Yunnan[M]. Kunming: Pub. House of Yunnan Univ. 1 ~ 419 (in Chinese).
- Lo C H, Chung S L, Lee T Y, et al. 2002. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian-Triassic boundary events[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 198: 449 ~ 458.
- Shen S, Jin M X and Lu Y F. 1988. Mineralization law and prospect for main ore deposits in the Xichang-Central Yunnan area[M]. Chongqing: Chongqing Pub. House. 1 ~ 276 (in Chinese).

- Wang D H. 2001. Basic concept, classification, evolution of mantle and large scale mineralization: probe into south western China[J]. *Earth Sci. Frontiers*, 8(3): 67 ~ 72 (in Chinese with English abstract).
- Wang H Y. 1993. Geochemical characteristics of Pb-Zn deposit in Guizhou[J]. *Guizhou Geol.*, 10(4): 272 ~ 290 (in Chinese).
- Wang J Z, Li C Y, Li Z H, et al. 2001. The geological setting, characters and origin of Mississippi Valley type Pb-Zn deposit in Sichuan and Yunnan Province[J]. *Geol. Geochem.*, 21(2): 41 ~ 45 (in Chinese with English abstract).
- Wang J Z, Li C Y, Li Z Q, et al. 2002. The comparison of Mississippi Valley type lead-zinc deposits in southwest of China and in Mid-continent of United States[J]. *Bull. Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 21(2): 127 ~ 132(in Chinese with English abstract).
- Wang X C. 1990. Discussion on relationship between MVT Pb-Zn deposits and sedimentation: Taking Sichuan Tianbaoshan and Daliangzi as example[J]. *Advance in Earth Sci.*, (2): 39 ~ 42 (in Chinese).
- Xia W J, Du S G, Xu X H, et al. 1994. Lithofacies and Palaeogeography of Sinian Period in South China and their mineralization [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 120 (in Chinese).
- Yang Y X, Ke C X, Lin F C, et al. 1994. Origin and metallogenetic laws of the lead-zinc deposits in the eastern margin of Kang-Dian Axis [M]. Chengdu: Sci. & Technol. Press(in Chinese).
- Zhang W J. 1984. Discussion on genesis and forming law of Pb-Zn deposits in Northeast Yunnan[J]. *Geol. & Prosp.*, (7): 11 ~ 16 (in Chinese).
- Zhang Y Q, Yang N, Meng H, et al. 2004. Late Cenozoic tectonic deformation history and uplift process of the Panxi region, western Sichuan[J]. *Geol. China*, 31(1): 23 ~ 33(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y X, Luo Y N, Yang C X, et al. 1988. Panxi rift[M]. Beijing: Geol. Pub. House(in Chinese).
- Zhang Y Y, Dong A Z and Luo X Q. 2001. Separation of authigenic illite in hydrocarbon reservoirs and its K-Ar dating techniques[J]. *Geosci. (J. Graduate School, China Univ. Geosci.)*, 15(3): 315 ~ 320(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Y, Luo X Q and Song J. 2002. Discussion on K-Ar isotopic geochronological studies of authigenic illites in hydrocarbon reservoirs [J]. *Geosci. (J. Graduate School, China Univ. Geosci.)*, 16(4): 403 ~ 407(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z C, Wang F S, Deng H L, et al. 2001. A discussion on some problems concerning the study of the Emeishan basalts[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 239 ~ 246 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z. 1995. Genesis modeling of lead-zinc ore deposit in eastern and northeastern Yunnan, China[J]. *Yunnan Geol.*, 14(4): 350 ~ 354 (in Chinese).
- Zheng C L. 1994. An approach on the source of ore-forming metals of lead-zinc deposit in northwestern part, Guizhou[J]. *J. Guilin College of Geol.*, 14(2): 113 ~ 124 (in Chinese with English abstract).
- Zhou C X, Wei C S, Guo J Y, et al. 2001. The source of metals in the Qilinchang Zn-Pb deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints[J]. *Econ. Geol.*, 96: 583 ~ 598.
- Zhou M F, John Malpas, Song X Y, et al. 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (S W China) and the end-Guadalupian mass extinction[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 196: 113 ~ 122.

附中文参考文献

- 白国平. 2000. 伊利石 K-Ar 测年在确定油气成藏期中的应用[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 24(4): 100 ~ 104.
- 陈进. 1993. 麒麟厂铅锌硫化物矿床成因及成矿模式探讨[J]. *有色金属矿床与勘探*, 2(2): 85 ~ 89.
- 陈士杰. 1986. 黔西滇东北铅锌矿床的沉积成因探讨[J]. *贵州地质*, 8(3): 41 ~ 48.
- 地质矿产部成都地质矿产研究所. 1987. 扬子地台西缘地质构造演化[M]. 重庆: 重庆出版社. 121 ~ 147.
- 高子英. 1997. 云南主要铅锌矿床的铅同位素特征[J]. *云南地质*, 16(4): 259 ~ 367.
- 管士平, 李忠雄. 1999. 康滇地轴东缘岩石与铅锌矿石稀土元素地球化学研究[J]. *地质地球化学*, 27(3): 5 ~ 16.
- 韩润生, 刘丛强, 黄智龙, 等. 2001. 论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J]. *矿物学报*, 21(4): 674 ~ 680.
- 胡耀国. 2000. 贵州银厂坡银多金属矿床银的赋存状态、成矿物质来源与成矿机制[学位论文][D]. 导师: 涂光炽, 李朝阳. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所. 88 页.
- 华仁民, 李晓峰, 张开平, 等. 2003. 金山金矿热液蚀变粘土矿物特征及水/岩反应环境研究[J]. *矿物学报*, 23(1): 23 ~ 30.
- 黄智龙, 陈进, 刘丛强, 等. 2001. 峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J]. *矿物学报*, 21(4): 681 ~ 688.
- 黄智龙, 李文博, 陈进, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床 C、O 同位素地球化学[J]. *大地构造与成矿学*, 28(1): 53 ~ 59.
- 李文博, 黄智龙, 王银喜, 等. 2004. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. *地质论评*, 50(2): 189 ~ 195.
- 廖文. 1984. 滇东、滇西 Pb-Zn 金属区 S、Pb 同位素组成特征与成矿模式探讨[J]. *地质与勘探*, (1): 1 ~ 6.
- 林方成. 1995. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅同位素组成特征及其成因意义[J]. *特提斯地质*, 19: 131 ~ 139.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社. 1 ~ 419.
- 沈苏, 金明霞, 陆元法, 等. 1988. 西昌-滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向[M]. 重庆: 重庆出版社. 1 ~ 276.
- 王登红. 2001. 地幔柱的概念、分类、演化与大规模成矿——对中国西南部的探讨[J]. *地学前缘*, 8(3): 67 ~ 72.
- 王华云. 1993. 贵州铅锌矿的地球化学特征[J]. *贵州地质*, 10(4): 272 ~ 290.
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 2001. 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨[J]. *地质地球化学*, 29(2): 41 ~ 45.
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 2002. 川滇黔交界地区密西西比河

- 谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比[J]. 矿物岩石地球化学通报, 21(2): 127~132.
- 王小春. 1990. 论 MVT 铅锌矿床与沉积作用的关系——以四川天宝山和大梁子矿床为例[J]. 地学进展, (2): 39~42.
- 夏文杰, 杜森官, 徐新煌, 等. 1994. 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社. 1~120.
- 中国地质科学院矿床地质研究所. 1989. 中国矿床学[M]. 北京: 学术书刊出版社.
- 杨雅秀, 张乃娴, 苏昭冰, 等. 1994. 中国粘土矿物[M]. 北京: 地质出版社. 104~105.
- 杨应选, 管士平. 1994. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M]. 成都: 四川科技大学出版社.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 572~609.
- 张位及. 1984. 试论滇东北 Pb-Zn 矿床的沉积成因和成矿规律[J]. 地质与勘探, (7): 11~16.
- 张有瑜, 懂爱正, 罗修泉. 2001. 油气储层自生伊利石的分离提纯及其 K-Ar 同位素测年技术研究[J]. 现代地质, 15(3): 315~320.
- 张有瑜, 罗修泉, 宋健. 2002. 油气储层中自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究若干问题的初步探讨[J]. 现代地质, 16(4): 403~407.
- 张岳桥, 杨农, 孟晖, 等. 2004. 四川攀西地区晚新生代构造变形历史与隆升过程初步研究[J]. 中国地质, 31(1): 23~33.
- 张云湘, 洛耀南, 杨崇喜, 等. 1988. 攀西裂谷[M]. 北京: 地质出版社.
- 张招崇, 王富生, 范蔚茗, 等. 2001. 峨眉山玄武岩研究中的一些问题的讨论[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 239~246.
- 赵准. 1995. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 14(4): 350~354.
- 郑传仑. 1994. 黔西北铅锌矿的矿质来源[J]. 桂林冶金地质学院学报, 14(2): 113~124.

K-Ar dating of altered clay minerals from Huize Pb-Zn deposit in Yunnan Province and its geological significance

ZHANG Chang-qing¹, MAO Jing-wen^{1,2}, LIU Feng² and LI Hou-min^{1,2}

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The large-size Huize Pb-Zn deposit is a typical ore deposit in the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn ore district. Accurate metallogenic ages of the deposits in this district were not determined in the past. In this paper, the age of (176.5 ± 2.5) Ma is obtained by K-Ar dating of altered clay minerals, which is the same as the age of the first-stage pyrite and is a bit older than the age of sphalerite, galena and calcite which were formed at the second stage. The data indicate that the ore-forming event of the Pb-Zn deposits is obviously later than the activity of Emeishan basalt (251~262 Ma). The deposit is likely to be of MVT which was formed in the extension belt of the landmass margin back-arc magma when Tethyan block subducted to the landmass.

Key words: geochemistry, K-Ar dating, clay mineral, ore-forming process, Huize Pb-Zn deposit, Yunnan