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

李文博[1,2] 黄智龙[1] 王银喜[3] 陈 进[4] 韩润生[1] 许 成[1,2] 管 涛[1,2] 尹牡丹[1,2]

1) 中国科学院地球化学研究所，贵阳，550002；2) 中国科学院研究生院，北京，100039

3) 南京大学现代分析中心，210093；4) 云南会泽铅锌矿，654211

内容提要 云南会泽超大型铅锌矿田由麟麒厂和矿山厂两个独立的铅锌矿床组成，方解石是两个矿床矿石中唯一的脉石矿物。本文利用方解石 Sm-Nd 等时线测定了麒麟厂6号矿体和矿山厂1号矿体的成矿时代。结果表明，会泽超大型铅锌矿田两个矿床的成矿时代一致，麒麟厂矿床为 226±15 Ma，矿山厂矿床为 225±38 Ma，如果把来自两个矿体的所有13个样品的数据作为一条等时线计算，在等时线图上仍然表现良好的线性关系，等时线年龄为 222±14 Ma；结合地质、地球化学资料，认为两个矿床为同期同源成矿作用的产物。本文获得的会泽超大型铅锌矿床成矿时代与西南大面积峨眉山玄武岩成岩时代(250 Ma 左右)在误差范围内接近，为"峨眉山玄武岩浆活动与铅锌成矿存在成因联系"提供了年代学证据。

关键词 方解石 Sm-Nd 等时线 成矿时代 超大型铅锌矿田 会泽 云南

位于扬子地块西南缘的川—滇—黔铅锌多金属成矿区是中国重要的铅、锌、银、锗生产基地之一，目前在该成矿区已发现铅—锌—银多金属矿床、矿点和矿化点400多个(柳贺昌等，1999)。云南会泽超大型铅锌矿田位于川—滇—黔铅锌成矿区中南部，该矿床以其规模大、品位高、伴生有用组分多而引起中外地质学家的关注。虽然许多学者从成矿地质背景、矿床地质、成矿物质和成矿流体来源等方面对该矿床进行过研究(陈 进等，1993，2001；柳贺昌等，1999；高德荣，2000；Zhou et al.，2001；黄智龙等，2001a，2001b；韩润生等，2001；Han et al.，2003)，但由于缺乏精确的年代学资料，无法深入讨论矿床成因，建立切合实际的矿床成因模式。

铅锌矿床定年一直是国内外地学界研究的难题，即使是世界上研究程度最高的 MVT 矿床都是如此(Nakai et al.，1990，1993；Sangster，1996)，其主要原因是铅锌矿床中一般缺少可以直接用于同位素定年的矿物。近年来，虽然许多学者致力于铅锌矿床成矿年代学研究(Nakai et al.，1990，1993；Brannon et al.，1992；Chesley et al.，1994；Christensen et al.，1995a，1995b；毛德宝等，2000；Jiang et al.，2000)，但是由于各矿床的实际情况各不相同，很难找到一种通用而有效的定年方法。Sm、Nd 同为稀土元素(REE)，稳定性好，变化同步，不易受改造，母体衰变形成的子体容易在矿物的晶格中保存下来，所以 Sm-Nd 等时线定年法是一种较为理想的定年方法。REE 在流体体系中容易与 OH^-、F^-、CO_3^{2-}、SO_4^{2-}、HPO_4^{2-}、HCO_3^- 等形成络合物进行迁移(赵振华，1997)，在含钙矿物沉淀时易置换 Ca^{2+} 而进入矿物晶体。许多学者已成功利用萤石、白钨矿和电气石等含 Ca 矿物对相关矿床进行了 Sm-Nd 等时线定年(Bell et al.，1989；Halliday et al.，1990；Chesley et al.，1991，1994；Kent et al.，1995；Anglin et al.，1996；Eichhorn et al.，1997；Jiang et al.，2000)。方解石是许多矿床中常见的脉石矿物，研究表明，REE 进入方解石晶体中，除了晶体溶解之外，其他过程是不可能破坏方解石稀土配分模式这个地质记录密码的(Zhong et al.，1995)。因此，这种矿物具有 Sm-Nd 等时线定年的潜力。Peng 等(2003)成功地利用热液方解石对湘中锡矿山锑矿床进行了 Sm-Nd 等时线定年。方解石是会泽铅锌矿床原生矿石中最主要的脉石矿物。黄智龙等(2001a)的研究表明，不同产状方解石为同源产物，其 REE 含量变化范围宽，Sm/Nd 值变化大，为 Sm-

注：本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40172038)和云南省省院省校科技合作项目(编号 2000YK-04)的成果。

收稿日期：2003-06-26；改回日期：2003-12-22；责任编辑：章雨旭。

作者简介：李文博，男，1976年生。现为中国科学院地球化学研究所博士研究生，主要从事矿床地球化学研究。通讯地址：550002，贵阳市观水路73号，中国科学院地球化学研究所。Email：Liwenbos @hotmail.com。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Nd 同位素定年提供了有利条件。本文利用方解石的 Sm-Nd 等时线测定了会泽超大型铅锌矿的成矿时代，并讨论了其地质意义。

1 地质特征

会泽超大型铅锌矿田由相距约3km 的矿山厂矿床和麒麟厂矿床组成(图1)，许多学者对矿床的地质特征进行过研究(陈进，1993；柳贺昌等，1999；高德荣，2000；陈进等，2001；Zhou et al.，2001；黄智龙等，2001a，2001b；韩润生等，2001；Han et al.，2003)，主要特征为：① 矿区出露从震旦系灯影组至二叠系栖霞组—茅口组多个时代的碳酸盐地层，但是矿体都毫无例外地产于石炭系摆佐组白云岩中；② 矿体形态不规则，多为似筒状、扁柱状、透镜状、囊状和脉状，剖面上总体呈"阶梯状"分布；③ 矿体与围岩接触界线清晰；④ 矿床的上部为氧化矿，下部为原生矿，中间为混合矿，氧化矿组成相当复杂，而原生矿组成相当简单，矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿，脉石矿物主要为方解石，其他矿物少见；⑤ 矿石铅锌品位极高(开采的矿石 Pb+Zn 平均品位大于30%，部分矿石 Pb+Zn 含量大于60%)，伴生有用分散元素多(Ag、Ge、Ga、Cd、In 等)；⑥ 矿体从底部到顶部矿物组合出现分异现象，大致为：铁闪锌矿—粗晶黄铁矿—少量方解石→闪锌矿—方铅矿—黄铁矿—方解石→细晶黄铁矿—方解石；⑦ 从浅部到深部，矿体有变厚、变富的趋势。

方解石为会泽超大型铅锌矿田原生矿石最主要的脉石矿物，按其产状可分为：团块状方解石、团斑状方解石和脉状方解石，其相对数量团块状>>团斑状>脉状，其生成顺序为团块状→团斑状→脉状。黄智龙等(2001a)的分析结果表明，该区脉石矿物方解石的 REE 含量范围宽、Sm/Nd 变化大，REE 配分模式总体为 LREE 富集型，同种产状或不同产状

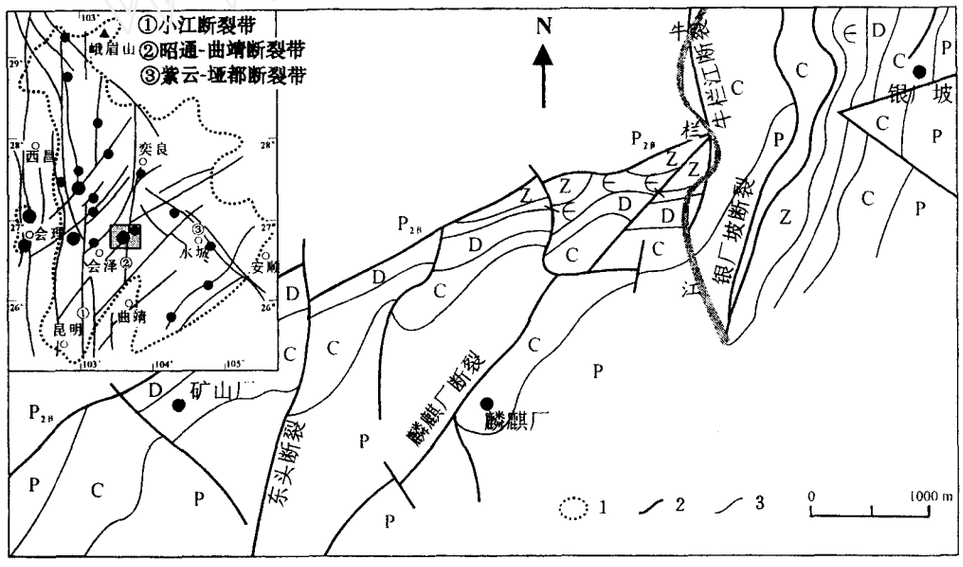


图 1 会泽超大型铅锌矿田地质图

Fig. 1 Geological map of the Huize Giant Pb—Zn Deposits

$P_2\beta$—二叠系峨眉山玄武岩；P—二叠系：包括栖霞—茅口组(P_1q+m)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；C—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；D—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；∈—寒武系：包括筇竹寺组($∈_1q$)泥页岩夹砂质泥岩；Z—震旦系地层：包括灯影组(Z_2d)硅质白云岩；1—峨眉山玄武岩分布区边界线；2—断裂；3—地层界线；●—铅锌矿床

$P_2\beta$—Permian Emeishan basalt; P—Permian, include: limestone and dolomitic limestone with dolostone beds of the Qixia Formation—Maokou Formation(P_1q+m), carbonaceous shale and quartz sandstone of the Liangshan Formation; C—Carboniferrous, include: gravel limestone of the Maping Formation(C_3m), oolitic limestone of the Weining Formation(C_2w), sparry dolostone with limestone and dolomitic limestone beds of the Baizuo Formation(C_1b), aphanitic limestone and oolitic limestone of the Datang Formation(C_1d); D—Devonian, include: Limestone, silliceous dolostone and dolostone of the Zaige Formation(D_3z), siltstone and muddy shale of the Haikou Formation(D_2h); ∈—Cambrian: mudstone—shale with sandy mudstone of the Qiongzhushi Formation($∈_1q$); Z—Sinian: silliceous dolostone of the Dengying Formation(Z_2d); 1—boundary line of the Emeishan basalt; 2—fault; 3—stratum boundary; ●—lead—zinc deposit

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

方解石的 REE 呈规律性变化，而且3种产状方解石的 C、O 同位素组成相近（$\delta^{13}C_{PDB}$值的变化范围为 −2.1‰ ～ −3.5‰，$\delta^{18}O_{SMOW}$ 值的变化范围为 +16.7‰～+18.6‰），因而认为本区3种产状方解石为同源不同阶段的产物。

2　样品及分析方法

本文测定了两条方解石的 Sm-Nd 等时线，为确保所有样品达到同时、同源 Sm-Nd 等时线定年的基本前提条件，用于本次研究的样品分别采自麒麟厂6号矿体和矿山厂1号矿体，两个矿体标高分别为1631 m 和1751 m，直线距离约3 km。将方解石样品粉碎到40～80目，在双目镜下挑纯达99%以上，用蒸馏水清洗，低温蒸干，然后将纯净的方解石在玛瑙研钵内研磨至200目左右。

样品的 Sm、Nd 同位素组成测定在南京大学现代分析中心同位素分析室完成，采用高压密闭熔样和阳离子交换技术分离和提纯，然后用英国产的 VG354质谱仪测定。测定的美国 La Jolla Nd 标准为 0.511860 ± 8，测定的美国 BCR-1 岩石标准为 0.512642 ± 8，Sm、Nd 的全流程空白为 5^{-11}～7×10^{-11}g，Sm、Nd 含量的分析误差优于0.5%。$^{143}Nd/^{144}Nd$ 值用 $^{146}Nd/^{144}Nd = 0.7219$ 进行校正，$^{147}Sm/^{144}Nd$ 的分析误差（2δ）为 ±0.2%。等时线年龄用 ISOPLOT（Version 2.90，1994）程序计算。

3　结果及讨论

表1为两组方解石的 Sm、Nd 含量及同位素组成分析结果。从表1可见，6号矿体方解石 Sm、Nd 含量相对高于1号矿体，但两者的 $^{147}Sm/^{144}Nd$和$^{143}Nd/^{144}Nd$值相似，6号矿体方解石的$^{147}Sm/^{144}Nd$和$^{143}Nd/^{144}Nd$值变化范围分别为 0.0721 ～ 0.1986 和 0.511895 ～ 0.512082，1号矿体分别为0.0851～0.1771和 0.511927～0.512062。

在$^{147}Sm/^{144}Nd$—$^{143}Nd/^{144}Nd$图中（图2 a，b），6号矿体和1号矿体的方解石均表现出很好的线性关系。由于同一组样品采自同一矿体的不同部位，同一矿体不同部位矿石的 Pb、S 同位素组成相近（表2），方解石的 C、O 同位素组成也不具明显变化（表2），1/Nd 与 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 之间不存在线性关系（表1）。这些均说明，图2所表现出的两条直线具有等时线意义。利用 ISOPLOT 软件包计算出6号矿体方解石等时线年龄 t =（226±15）Ma，ε_{Nd} = −10.8，MSWD = 0.197；1号矿体方解石等时线年龄 t =（225±38）Ma，ε_{Nd} = −10.6，MSWD = 0.129。可见，会泽超大型铅锌矿田两个矿体中方解石的形成时代基本一致。如果把两个矿体13件样品的数据作为一条等时线计算，仍然表现出很好的线性关系（图2 C），等时线年龄 t =（222±14）Ma，ε_{Nd} = −10.8，MSWD = 0.695，同样说明两个矿体为同期成矿产物。从表2中可见，麒麟厂6号矿体（及8号、10号等矿体）和矿山厂矿床1号矿体不仅具有相同的成矿构造环境、赋矿地层、矿物组合，而且其 Pb、S、C、O 同位素组成也不具明显区别，同样支持两个矿床为同期成矿作用的产物，而且证明两个矿床具有相同（或相似）的成矿物质和成矿流体来源。

当取各样品的年龄为250 Ma 时，计算出1号矿体5个方解石样品的 ε_{Nd}值在 −10.3～−10.6之间，6号矿体8个方解石样品的 ε_{Nd}值在 −10.5～−10.9之间，变化范围很小，与用 ISOPLOT 程序所计算的 ε_{Nd}一致，证明它们属同源和同期热液流体活动的产物。再加之，两条等时线上的样品分别采自同一矿体，没有受到变形和热液蚀变的影响，符合等时线定年的前提条件，因此本次定年的结果是可靠的。两个矿体相近 ε_{Nd}值，同样佐证了两个矿床具有相同（或相似）的成矿物质和成矿流体来源。区域上峨眉山玄武岩的 ε_{Nd}为 −6.73～+4.84（笔者未发表的资料），邓海琳（1997）测得区域上白云岩（曲靖组，与矿区宰格组时代相近）的 ε_{Nd}为 −13，但是目前还没有其他各地层的 ε_{Nd}值，在此难以作详细的论述。

表 1　会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm、Nd 同位素组成

Table 1　Sm-Nd isotopic analyses for calcites from the Huize giant Zn—Pb ore deposits

样品号	产地	产状	Sm	Nd	$\frac{^{147}Sm}{^{144}Nd}$	$^{143}Nd/^{144}Nd$
HZ-911-8	1号矿体	团块状	2.394	8.182	0.1771	0.512062±19
HZ-911-10	1号矿体	团块状	2.897	11.53	0.1489	0.512025±21
HZ-911-12	1号矿体	团块状	2.472	13.14	0.1148	0.511968±15
HZ-911-29	1号矿体	团块状	2.501	15.13	0.1003	0.511952±15
HZ-911-37	1号矿体	团块状	2.370	16.85	0.0851	0.511927±22
HZQ-47	6号矿体	团块状	11.96	48.14	0.1508	0.512010±14
HZQ-89-1	6号矿体	团斑状	1.817	15.25	0.0721	0.511895±11
HZQ-89-2	6号矿体	团块状	4.615	21.52	0.1348	0.511992±8
HZQ-90	6号矿体	团斑状	4.809	25.16	0.1141	0.511957±12
HZQ-100	6号矿体	团块状	6.814	23.07	0.1797	0.512056±13
方-1	6号矿体	团块状	12.51	44.06	0.1718	0.512046±9
方-3	6号矿体	团块状	25.93	79.02	0.1986	0.512082±10
方-5	6号矿体	团块状	10.32	52.17	0.1209	0.511971±12

注：Sm、Nd 含量单位为 μg/g。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

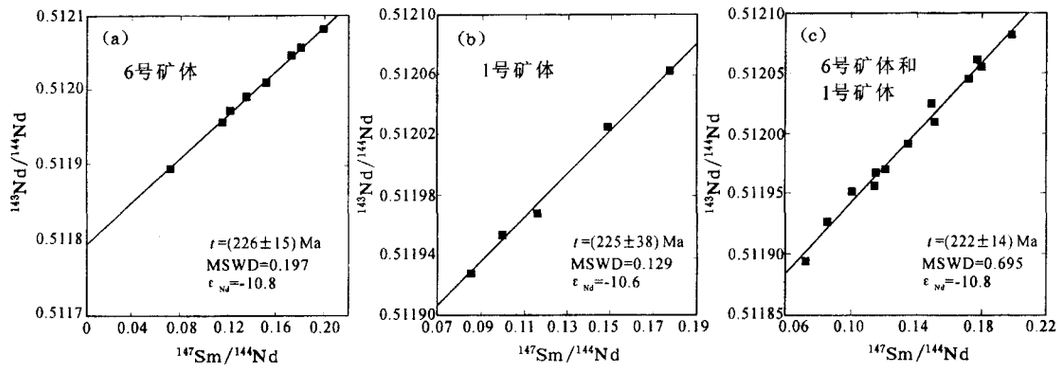


图 2 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线图解

Fig. 2 Sm-Nd isochrones for the No. 6 ore body (a), No. 1 ore body (b) and 13 calcite samples from No. 6 and No. 1 ore bodies (c)

许多学者根据地质和区域铅锌矿床铅同位素模式年龄等间接方法确定了川—滇—黔铅锌多金属成矿区的成矿时代，张云湘等(1988)认为包括会泽铅锌矿田在内的滇东北铅锌成矿带为多期成矿产物，主成矿期为海西晚期和燕山期；杨应选等(1994)和柳贺昌等(1999)认为康滇地轴东缘铅锌矿床(包括会泽铅锌矿田)的成矿时代为海西成矿期和印支—燕山成矿期；张立生(1998)认为该区铅锌矿床成矿作用发生于晚二叠世；管士平等(1999)利用铅同位素组成计算出该区铅锌矿床成矿时代为245 Ma。本文所获得的会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄与上述成果相近。

包括会泽超大型铅锌矿田在内的川—滇—黔铅锌多金属成矿区中的绝大部分矿床(点)的外围均有大面积峨眉山玄武岩分布(柳贺昌等，1999；黄智龙等，2001b)(见图1)。目前，对峨眉山玄武岩浆活动与铅锌成矿二者关系的认识还有较大分歧。虽然有学者认为峨眉山玄武岩在铅锌矿床成矿过程中可能起到提供部分成矿物质(廖文，1984；陈进，1993；柳贺昌等，1999；韩润生等，2001；黄智龙等，2001b)、成矿流体(黄智龙等，2001a，2001b；Huang et al.，2003)和成矿热动力(张云湘等，1988；胡耀国，2000；黄智龙等，2001b)的作用，但由于缺乏铅锌矿床的准确年代学资料，上述学者所提供的证据均无很强的说服力。近期的定年资料显示(Boven et al.，2002；Lo et al.，2002；Zhou et al.，2002)，峨眉山玄武岩成岩时代为250 Ma 左右，虽然该年龄值高于本文获得的会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄约25 Ma，但众多研究结果表明(Halliday，1980；Snee et al.，1988；Chesley et al.，1991；柳少波等，1996，

表 2 会泽超大型铅锌矿田两个矿床地质地球化学特征对比

Table 2 Geological characteristics of the Huize giant Zn—Pb deposits

矿床名称	矿山厂矿床	麒麟厂矿床		
矿体名称	1号矿体	6号矿体	8号矿体	10号矿体
出露标高(m)	1751	1631	1471	1571
成矿时代(Ma)	225±41	227±18		
赋矿地层	下石炭统摆佐组			
控矿构造	NE 向断裂			
矿物组合	矿石矿物：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿；脉石矿物：方解石			
$\delta^{34}S$(‰)	10.94～15.99 (16)	11.56～17.24 (10)	11.25～16.68 (23)	13.53～17.42 (13)
$\delta^{13}C$(‰)	−3.5～−2.2 (3)	−3.4～−2.1 (9)	−3.0～−2.2 (3)	−3.2～−2.3 (5)
$\delta^{18}O$(‰)	17.5～18.6 (3)	17.2～18.1 (9)	17.0～17.8 (3)	16.8～18.5 (5)
$^{206}Pb/^{204}Pb$	18.452～18.491 (8)	18.432～18.487 (20)	18.477～18.514 (27)	18.452～18.488 (9)
$^{207}Pb/^{204}Pb$	15.687～15.734 (8)	15.664～15.720 (20)	15.712～15.754 (27)	15.669～15.727 (9)
$^{208}Pb/^{204}Pb$	38.876～38.905 (8)	38.729～38.874 (20)	38.765～39.009 (27)	38.835～38.899 (9)

注：同位素组成原始资料为本文作者未发表资料，括号内的数字为分析样品数。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Leach et al.，2001)，岩浆活动与成矿作用一般存在3 Ma～25 Ma 以上的时差。因此，本文的测定结果为为"峨眉山玄武岩浆活动与铅锌成矿存在成因联系"提供了年代学证据。

4　结论

(1) 利用方解石的 Sm、Nd 等时线成功地获得了会泽超大型铅锌矿田的两个矿床的成矿时代，麒麟厂矿床为(226±15)Ma，矿山厂矿床为(225±38) Ma。

(2) 会泽超大型铅锌矿田两个矿床的成矿时代一致，结合地质、地球化学资料，认为两个矿床为同期同源成矿作用的产物。

(3) 会泽超大型铅锌矿田成矿时代比西南大面积峨眉山玄武岩成岩时代(250 Ma 左右)小约25 Ma，但该差值在岩浆活动与成矿作用的时差范围之内，为"峨眉山玄武岩浆活动与铅锌成矿存在成因联系"提供了年代学证据。

致谢　在野外工作期间得到会泽铅锌矿地质科和资源接替指挥部的大力支持；在室内研究和撰写论文过程中，承蒙裘愉卓研究员、张乾研究员、温汉捷研究员、彭建堂研究员、美国犹他大学地质与地球物理系 Erich U. Petersen 教授和香港大学地球科学系漆亮博士指教，在此一并致以诚挚的谢意。

参　考　文　献

陈进. 1993. 麒麟厂铅锌硫化矿矿床成因及成矿模式探讨. 有色金属矿床与勘查，2(2)：85～89.

陈进，韩润生，高德荣，赵德顺. 2001. 云南会泽铅锌矿床地质特征及找矿方法模式. 地质地球化学，29(3)：124～129.

邓海琳. 1997. 中国滇东北乐马厂独立银矿床成矿地球化学——兼论水－岩反应. 中国科学院地球化学研究所博士学位论文.

高德荣. 2000. 会泽铅锌矿床成矿地质条件及找矿方向. 昆明理工大学学报，25(4)：19～24.

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. 地质地球化学，27(3)：5～16.

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. 中国科学院地球化学研究所博士学位论文.

黄智龙，陈进，韩润生，李文博，高德荣，赵德顺，刘从强. 2001a. 云南会泽超大型铅锌矿脉石矿物方解石 REE 地球化学. 矿物学报，21(4)：659～666.

黄智龙，陈进，刘从强，韩润生，李文博，赵德顺，高德荣，冯志宏. 2001b. 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. 矿物学报，21(4)：681～688.

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. 地质与勘探，(1)：1～6.

柳贺昌，林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究. 昆明：云南大学出版社.

柳少波，王连魁. 1996. 金矿床成岩成矿时差述评. 地质论评，42(2)：154～165.

毛德宝，陈志宏，钟长汀，李子仪，邹晓秋. 2000. 冀北北岔沟门铅锌矿床中辉钼矿的铼-锇同位素年龄. 地球化学，29(2)：132～135.

韩润生，刘从强，黄智龙，陈进，马德云，李元. 2001. 论云南会泽铅锌矿床成矿模式. 矿物学报，21(4)：674～680.

杨应选，管士平. 1994. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律. 成都：四川科技大学出版社.

赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京：科学出版社.

张立生. 1998. 康滇地轴东缘以碳酸盐为主岩的 Pb—Zn 矿床的几个地质问题. 矿床地质，17：182～190.

张云湘，骆耀南，杨崇喜. 1988. 攀西裂谷. 北京：地质出版社.

References

Anglin C D, Jonasson I R, Frankin J M. 1996. Sm-Nd dating of scheelite and tourmaline: Implications for the genesis of Archean gold deposits, Val d'Or, Canada: Economic Geology, 91:1372～1382.

Bell K, Anglin C D, Frankin J M. 1989. Sm-Nd and Rb-Sr isotope systematics of scheelites: Possible implications for the age and genesis of vein-hosted gold deposits: Geology, 17:500～504.

Boven A, Pasteels P, Punzalan L E, Liu J, Luo X, Zhang W, Guo Z, Hertogen J. 2002. $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronological constraints on the age and evolution of the Permo—Triassic Emeishan Volcanic Province, Southwest China: Journal of Asian Earth Sciences, 20: 157～175.

Brannon J C, Podosek F A, McLimans R K. 1992. Alleghenian age of the upper Mississippi Valley zinc—lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite: Nature, 356:509～511.

Chen J. 1993. Genesis and metalogenic pattern of the Qilingchang Pb—Zn deposit: Geological exploration for Non-ferrous Metals, 2 (2): 85～89 (in Chinese with English abstract).

Chen J, Han R S, Gao D R, Zhao D S. 2001. Geological characteristics of the Huize Pb—Zn deposit, Yunnan and model of ore-prospecting method: Geology—Geochemistry, 29(3):124～129 (in Chinese with English abstract).

Chesley J T, Halliday A N, Scrivener R C. 1991. Samarium-Neodymium direct dating of fluorite mineralization: Science, 352: 949～951.

Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K, Spry P G. 1994. Direct dating of Mississippi Valley-type mineralization: Using of Sm-Nd in fluorite: Economic Geology, 89:1192～1199.

Christensen J N, Halliday A N, Leigh K E, Randell R N, Kesler S E. 1995a. Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polaris Mississippi Valley-type Zn—Pb deposit: Geochimica et Cosmochimica Acta,. 59:5191～5197.

Christensen J N, Halliday A N, Vearncombe J R, Kesler S E. 1995b. Testing models of large-scale crustal fuild flow using direct dating of sulfides: Rb-Sr evidence for early dewatering and formation of Mississippi Valley-type deposits, Canning Basin, Australia: Economic Geology, 90:877～884.

Deng H L. 1997. Ore-forming geochemistry of Lemachang single-sliver deposit in North-eastern Yunnan Province of China, with special reference to fluid—rock interaction: Ph. D. thesis of the Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. (in Chinese with English abstract).

Eichhorn R, Höll R, Jagoutz E, Schärer U. 1997. Dating scheelite stages: A strontium, Neodymium, lead approach from the

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Felbertal tungsten deposit, Central Alps, Austria. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61:5005～5022.

Gao D R. 2000. Mineralization geological conditions and ore-prospecting direction of the Huize super-large Zn—Pb deposit: Journal of Kunming University of Science and Technology, 25 (4): 19～24 (in Chinese with English abstract).

Guan S P, Li Z X. 1999. REE geochemistry of rocks and lead—zinc ores at the eastern margin of Kangdian Axis: Geology—Geochemistry, 27 (3): 5 ～ 16. (in Chinese with English abstract).

Halliday A N. 1980. The timing of early and main stage ore mineralization in Southwest Cornwall: Economic Geology, 75: 752～759.

Halliday A N, Shepherd T J, Dickin A P, Chesley, J T. 1990. Sm-Nd evidence for the age and origin of a MVT ore deposit. Nature, 334:54～56.

Han R S, Liu C Q, Huang Z L, Chen J. 2001. Ore-forming modle of Huize rich Pb—Zn deposit, Yunnan: Acta Mineral. Sinica, 31: 674～680 (in Chinese with English abstract).

Han R S, Liu C Q, Huang Z L, Chen J. 2003. Huize Carbonate-hosted rich Zn—Pb—(Ag) District, Yunnan, China: Ore Geology Review, (in press).

Hu Y G. 2000. Preserving State, Source of Ore-forming Substances and Ore-forming Mechanism of Rich Ag Metallic Deposit in Yinchangpo, Guizhou province, China: Ph. D. thesis of the Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1～159 (in Chinese with English abstract).

Huang Z L, Chen J, Han R S, Li W B, Gao D R, Zhao D S, Liu C Q. 2001a. REE geochemistry of calcite——a gangue mineral in the Huize ore deposit, Yunnan: Acta Mineralogica Sinica, 21(4): 659～666 (in Chinese with English abstract).

Huang Z L, Chen J, Liu C Q, Han R S, Li W B, Zhao D S, Gao D R, Feng Z H. 2001b. A preliminary discussion on the genetic relationship between Emeishan basalt and deposits as examplifide by Huize Pb—Zn deposit, Yunnan Province: Acta Mineralogica Sinica , 21(4): 681～688 (in Chinese with English abstract).

Jiang S Y, Slack J F, Palmer M R. 2000. Sm-Nd dating of the giant Sullivan Pb—Zn—Ag deposit, British Columbia: Geology, 28: 751～754.

Kent A J R, Campbell I H, McCulloch M T. 1995. Sm-Nd systematics of hydrothermal scheelite from the Mount Charlotte Mine, Kalgoorlie, Western Australia: An isotopic link between gold mineralization and komatiites. Economic Geology, 90:2329 ～2335.

Leach D L, Bradley D, Lewchuk M T, Symons D T A, de Marsily G, Brannon J. 2001. Mississippi valley-type lead—zinc deposits through geological time: implications from recent age-dating research. Mineralium Deposita, 36:711～740.

Liao W. 1984. Mineralization model and the characters of isotope composition of S and Pb in the Pb—Zn metallic area in the east and West Yunnan Province, China: Geology and Prospecting, 1: 1～6 (in Chinese with English abstract).

Liu H C, Lin, W D. 1999. Study on the law of Pb—Zn—Ag ore deposit in Northeast Yunnan, China: Yunnan University Press, Kunming, 1～455 (in Chinese).

Liu S B, Wang L K. 1996. The time gap between rock and gold ore formation. Geological Review, 42(2): 154～165(in Chinese with English abstract).

Lo C H, Chung S L, Lee T Y, Wu G Y. 2002. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian—Triassic boundary events. Earth Planet. Sci. Lett., 198(3～4): 449～458

Mao D B, Chen Z H, Zhong C T, Li Z Y, Zou X Q. 2000. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Beichagoumen Pb—Zn deposit in the North China Platform. Geochimica, 29(2): 132～135 (in Chinese with English abstract).

Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D. 1990. Rb-Sr dating of sphalerites from Tenessee and the genesis of Mississippi Valley-Type (MVT) ore deposits: Nature, 346:354～357.

Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D, Kyle J R, Lane T E. 1993. Rb-Sr dating of sphalerites from MVT ore deposits. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57:417～427.

Peng J T, Hu R Z, Burnard P G. 2002. Samarium-neodymium isotope systematics of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit (Hunan, China): the potential of calcite as a geochronometer: Chemical Geology, 200: 129～136.

Sangster D F. 1996. Mississippi Valley-type lead—zinc. In: Eckstrand O R, Sinclair W D, Thorpe R I, eds. Geology of Canadian Mineral Deposit Types. Geological Survey of Canada, 8:253～261.

Snee L W, Sutter J F, Kelly W C. 1988. Thermochronology of economic mineral deposits: Dating the stages of mineralization at Panasqueira, Portugal, by high-precision $^{40}Ar/^{39}Ar$ age spectrum techniques on muscovite: Economic Geology, 83:335～354.

Yang Y X, Guan S P. 1994. Genesis and Ore-forming Regularity of the Lead—Zinc Ores at the Eastern Margin of Kangdian Axis. Chengdu: Sichuan University Science and Technology Press (in Chinese).

Zhang L S. 1998. Some geological problems on Pb—Zn ore deposits hosted in carbonate at the eastern margin of Kangdian Axis. Mineral Deposits, 17: 182 ～ 190 (in Chinese with English abstract).

Zhang Y X, Luo Y N, Yang C X. 1988. The Panzhihua—Xichang Rift in China. Beijing: Geological Publishing House, 1～325 (in Chinese with English abstract).

Zhao Z H. 1997. Geochemical principles of trace elements. Beijing: Science Press, 1～93 (in Chinese).

Zhong S J, Alfonso M. 1995. Partitioning of rare earth elements (REEs) between calcite and seawater solutions at 25°C and 1 atm, and high dissolved REE concentrations. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 443～453.

Zhou C X, Wei C S, Guo J Y, Li C Y. 2001. The source of metals in the Qilingchang Pb—Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints: Economic Geology, 96:583～598.

Zhou M F, Malpas J, Song X Y, Robinson P T, Sun M, Kennedy A K, Lesher A M, Keays R R. 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. Earth and Planetary Science Letters, 196:113～122.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Age of the Giant Huize Zn—Pb Deposits Determined by Sm-Nd Dating of Hydrothermal Calcite

LI Wenbo[1,2], HUANG Zhilong[1], WANG Yinxi[3], CHEN Jin[4], HAN Runsheng[1], XU Cheng[1,2], GUAN Tao[1,2], YIN Mudan[1,2]

1) *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou*, 550002

2) *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing*, 100039

3) *Modern Analysis Center of Nanjing University, Nanjing, Jiangsu*, 210093

4) *Huize Lead—Zinc Mine, Huize County of Yunnan Province, Huize, Yunnan*, 654211

Abstract

The giant Huize zinc—lead ore deposits comprise the Kuangshanchang deposit and the Qilinchang deposit separated by a distance of 3 km. The ages of the No. 1 ore body of the Kuangshanchang deposit and the No. 6 ore body of the Qilinchang deposit were determined by the samarium-neodymium isochron method for hydrothermal calcite. The ages are 225±38 Ma and 226±15 Ma for the No. 1 ore body and the No. 6 ore body, respectively. If all calcite samples are plotted on one line an average age can be calculated. All the calcite samples fall on one line and yield a Sm-Nd isochron age of 222±14 Ma. Combined with geological and geochemical data, it is concluded that the Kuangshanchang and the Qilinchang deposit formed during the same geological event and the metals have the same source. The ages of the two ore bodies in the Huize deposits are close to the age of the Emeishan Basalt, which is about 250 Ma. It implies that mineralization of the Huize Zn—Pb deposits maybe related to the event of the Emeishan Basalt.

Key words: calcite Sm-Nd isochron; giant Huize Zn—Pb deposits; Huize, Yunnan

大冰期成因新见——“陆壳型火山与洋壳型火山爆发交响”

杨树庄

广东省地质矿产局，广州，510080

1　大冰期的8个特征

与“地球只形成一次”不同，大冰期是一而再、再而三地出现，且仅在最近约 600 Ma 才出现。大冰期的成因得不到解决，应当反省研究思路。前人并没有真正认识清楚大冰期现象。只有认识地质现象，理解地质作用，才能解释其成因。

将大冰期的形成，仅仅看成是气温低，从宇宙的、地球自身的角度，去寻找导致气温低的原因，是先辈解释大冰期成因失败的症结。

大冰期现象，应注意以下8个特征：① 气温低。② 海水热。冰川盛行，必须有大量海水转移到了大陆上。仅仅气温低，海水不能够大量蒸发，大冰期还是不能出现。如第四纪大冰期就有7136万立方千米的海水转移到了大陆上。麦克拉伦“冰水性海面升降说”因此表现出了真理性。③ 大冰期“冰川作用循环”表明，属于外动力地质作用的大冰期冰川作用，却具有内动力地质作用的“旋回”特征。也就是说，大冰期具有由地球内营力制造的特征。④ 大冰期，如第四纪大冰期并不改变全球气候格局。⑤ 大冰期与火山活动密切相关。前人正是因此解释为“火山灰遮天蔽日”，使气温降低而出现大冰期。⑥ 大冰期是地壳经历长期(约4.0 Ga)演化到一定阶段之后才得以发生。⑦ 大冰期极大地促进了生物界发展。⑧ 大冰期反复出现，并且规模越来越大。

笔者认为，大冰期的形成乃是由于陆壳型火山与洋壳型火山共同作用造成——大冰期是“陆壳型火山与洋壳型火山爆发交响曲”。地球经过约 4.0 Ga 演化，地壳已经分化出现了比较成熟的陆壳，并且越来越成熟。这里的“成熟”，强调的是陆壳里普遍有了碳酸盐岩层等。作为地球地质作用之一的火山作用，出现在洋壳和出现在陆壳，此时就产生了完全不同的效果和现象：

洋壳型火山，如夏威夷型火山，玄武岩岩浆涌入海水——“煮海”。造成海水的大量蒸发。在火山岛上喷发则表现为岩浆静静流淌；陆壳型火山，如意大利维苏威火山，岩浆通过白垩纪灰岩层等后喷发，等于大自然在“烧石灰”。$CaCO_3$(加热)$\longrightarrow Ca+CO_2\uparrow$。$CO_2$在地下为高压，喷出后压力迅速降低，从而产生了“干冰制冷”作用，可以产生－75.5℃的低温。陆壳型火山爆发的作用对象是大气圈。结果是造成大气圈低温。火山也因此属于猛烈爆发型火山，许多奇特的火山现象，就是在极热与极冷的剧烈冲突中产生的。如频繁的火山爆炸，火山灰、火山弹、火山雷雨等等。

隐生宙的中晚期、奥陶纪—志留纪、第三纪晚期的上新世也出现过冰期的说法是可能成立的。但在石灰岩层形成之前，形成冰期是完全不可能的。在地球发展演化的4.6 Ga 里，冰期远远不至3次。但是，半球性的大冰期，看起来只有3次。大冰期之前、之间，还有“区域性的冰期”，制造出区域性的冰川活动。

（下转第209页）

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net