

关于滇东北 MVT 型铅锌矿 成矿时代的讨论



www.
geojournals.cn/georev

蒋斌斌¹⁾, 祝新友²⁾, 黄行凯¹⁾, 赵伟策¹⁾, 吕晓强²⁾, 刘孜¹⁾

1) 北京矿产地质研究院有限责任公司, 北京, 100012;

2) 中色紫金地质勘查(北京)有限责任公司, 北京, 100012

内容提要:滇东北地区是我国重要的铅锌矿产品生产基地, 区内发育多个大型密西西比河谷型(Mississippi valley-type, MVT 型)铅锌矿床, 个别矿床(会泽)达到超大型。前人对该区域的铅锌矿床开展了大量的年代学研究, 获得了一大批成矿年龄, 本文在通过对各类同位素测年方法在该类型矿床中使用存在的弊端进行分析后, 基于滇东北地区的地质构造事件, 即滇东北地区从晚震旦—早白垩世沉积的地层之间均为整合或平行不整合接触, 由此推断该地区发生大规模冲断—褶皱事件的时间应该在晚白垩世—古近纪, 而区域性的冲断—褶皱带控制着滇东北 MVT 型铅锌矿床的产出, 因此认为滇东北 MVT 型铅锌矿床的成矿时代为晚白垩世—古近纪。

关键词:滇东北; 铅锌矿; 密西西比河谷型(MVT 型); 成矿时代

滇东北地区是我国重要的密西西比河谷型(Mississippi valley-type, MVT 型)铅锌矿集区, 区内发育有多个大型—超大型铅锌矿, 如会泽、毛坪、茂租、乐马厂、富乐厂等, 其中会泽矿山厂、麒麟厂和彝良毛坪铅锌矿铅+锌金属储量远超 100 Mt, 矿石品位>20%, 是中国乃至世界上少有的大型特富矿床。滇东北 MVT 型铅锌矿具有明显受层位、构造控制的特点(柳贺昌和林文达, 1999; 刘文周和徐新煌, 1996; 张志斌等, 2006; 韩润生等, 2019), 容矿围岩以白云岩为主, 时代集中在震旦系、泥盆系和石炭系, 矿石主要为块状、脉状和角砾岩, 矿物组合比较简单, 金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿, 少数矿床含白铁矿、赤铁矿, 脉石矿物主要为白云石和方解石, 有的矿床发育重晶石和萤石, 围岩蚀变主要为白云石化。

前人对滇东北铅锌矿床做了大量的研究工作, 尤其在年代学研究方面, 使用了多种同位素测年方法, 获得了较多的年龄数据, 测得滇东北 MVT 型铅锌矿的成矿年龄分布大致集中在两个时段, 其中会泽、乐红、茂租、金沙厂铅锌矿的成矿年龄集中在三叠纪(黄智龙等, 2004; 李文博等, 2004a, b; Li Wenbo et al., 2006; 刘峰, 2005; 张长青等, 2005; Yin Mudan et al., 2009; 韩润生等, 2014; 江小均等,

2018; 张云新等, 2014; Zhou Jiayi et al., 2013; 王健, 2018; 吴越, 2013; Zhang Changqing et al., 2015; Zhou Jiayi, 2015), 毛坪铅锌矿测年数据较少, 目前厘定的成矿年龄为石炭纪(沈占武等, 2016)。

MVT 型铅锌矿床成矿年代的厘定一直是国内外地学界的难题(Leach et al., 2001), 对于这种类型的矿床, 即使目前的各种同位素测试方法技术已经有了长足的进步, 但得到的成矿年龄的精确性仍饱受质疑, 例如目前得到的会泽铅锌矿的成矿年龄虽然多数集中在三叠纪, 但是其他样品的结果显示二叠纪到古近纪均有分布, 由此可见其成矿年龄并不能盖棺定论。然而通过同位素测年方法厘定成矿年龄只是辅助手段, 通过对地质事实分析推断成矿活动的大致时代其实更具说服力。本文通过滇东北 MVT 型铅锌矿的分布规律结合区域构造事件分析来探讨该地区 MVT 型铅锌矿的大致成矿时代。

1 区域地质背景

滇东北地区位于扬子准地台西南缘, 区域上发育一套震旦系—古生代台地相碳酸盐岩沉积层, 受攀西构造小江断裂的长期影响, 不同地区沉积层组合有所差异, 期间发生多个平行不整合面对应的地层缺失。震旦系—二叠系的多个地层中均有矿体

注: 本文为中国铜业有限公司重点科技计划项目(编号:[2019]048)的成果。

收稿日期: 2021-06-08; 改回日期: 2021-12-07; 网络首发: 2021-12-20; 责任编辑: 章雨旭, 赵雪。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.12.095

作者简介: 蒋斌斌, 男, 1991 年生, 工程师, 主要从事大比例尺成矿规律研究和找矿预测; Email: jbb_geo@163.com。

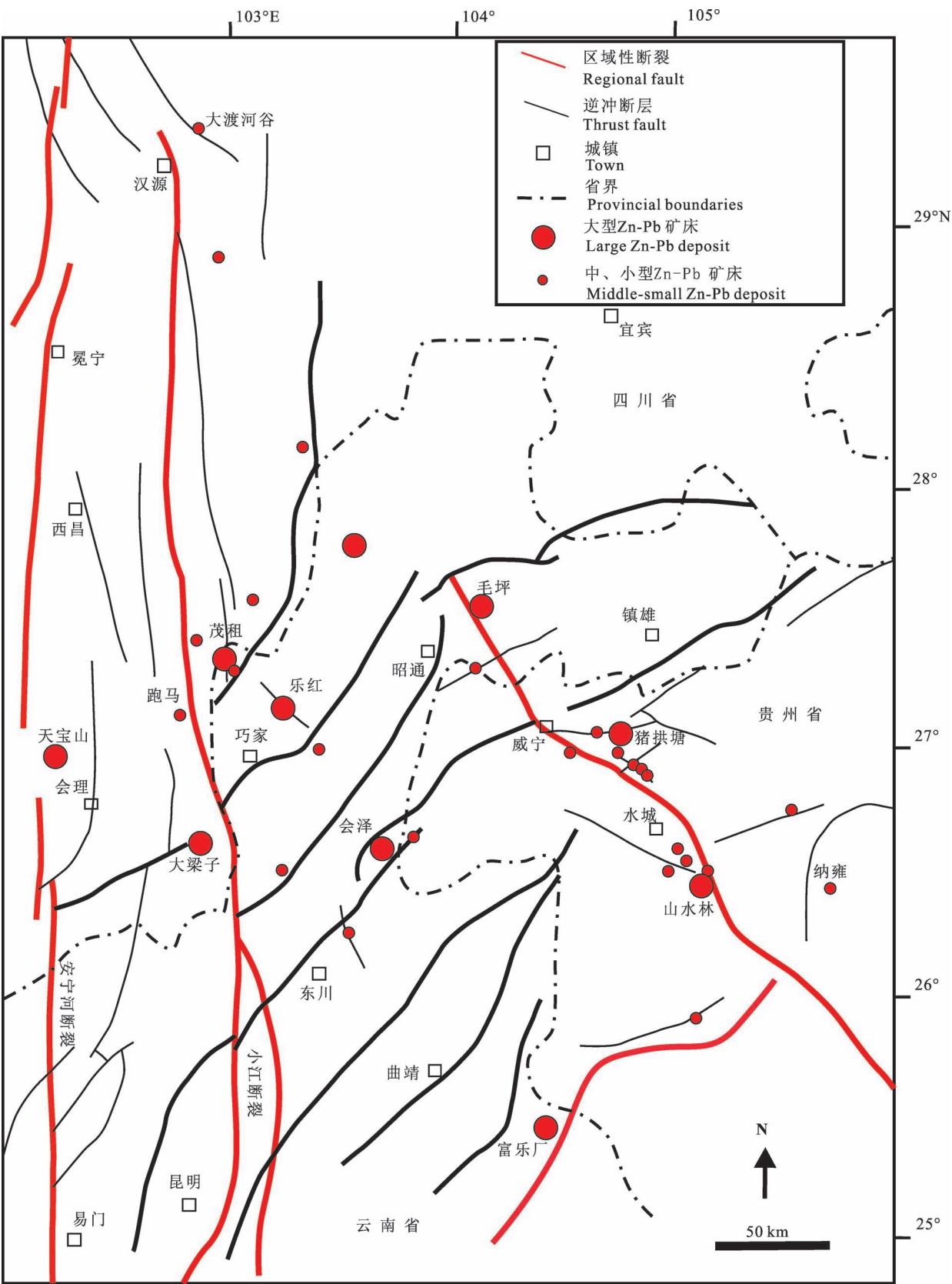


图 1 川滇黔铅锌多金属成矿区铅锌矿床、构造分布图 (据柳贺昌和林文达, 1999 改绘)

Fig. 1 Distribution map of lead—zinc deposits and structures in Sichuan—Yunnan—Guizhou lead—zinc—polymetallic metallogenic area (modified after Liu Hechang and Lin Wenda, 1999)

产出。区内大规模断裂主要有 SN 向的小江断裂, NW 向垭紫罗断裂(垭都—紫云断裂或垭都蟒洞断裂)以及 NE 向的师宗—弥勒断裂。滇东北地区发育大规模逆冲断裂构造和相关褶皱构成的褶皱—冲断带。这些区域性断裂构造长期活动控制了区域地层的产出并对矿床的形成产生了深远的影响(图 1)。

2 年代学研究成果

前人对会泽铅锌矿、毛坪铅锌矿等开展了大量的测年研究工作,通过闪锌矿 Re-Os 法、闪锌矿 Rb-Sr 法、方解石 Sm-Nd 法、萤石 Sm-Nd 法、伊利石 K-Ar 法等获得了许多的年龄数据(表 1)。从表中可以看到滇东北地区主要的铅锌矿成矿年代相对比较集中,反映了可能是同一期区域性成矿作用的结果,结果显示会泽的年龄数据分布较宽,为 40.7~252 Ma,跨度极大,乐红、茂租、金沙厂因其样品测试结果较少,目前主要集中在晚三叠世—早侏罗世,而毛坪矿床成矿时代更早,成矿年龄限定在了石炭纪。

3 讨论

3.1 测年方法评述

MVT 型铅锌矿床是一类与岩浆活动无关的后生热液矿床,由于缺乏合适的测年对象,找到该类型矿床成矿时代的厘定方法是地质学者们致力追求的目标。在岩浆热液型矿床中利用放射性同位素测年方法常常能得到可靠的年龄数据,但是 MVT 型铅锌矿床中能够用于测年的矿物中的放射性同位素含量极低,且测试样品难以达到成因相同、形成环境中同位素组成均一、形成后必须保持化学封闭状态等几个基本条件(Leach et al., 2001),虽然随着技术的进一步发展,各种放射性同位素测试方法被应用到 MVT 型铅锌矿床的年代学研究工作中,并获得了大量的测年成果,例如闪锌矿的 Rb-Sr 法,方解石的 Sm-Nd 法,伊利石 K-Ar 法等。但是这些方法在使用过程中具有局限性,因此得到的成矿年龄常饱受质疑,现将各类方法的缺点分述如下:

Rb-Sr 法。Rb-Sr 法适合于酸性、中酸性岩浆岩的定年,其最大的缺点是由于 Rb 具有较高的流动

表 1 滇东北地区 MVT 矿床规模、品位及成矿年龄(据武俊婷等,2019)

Table 1 Size, grade and metallogenic age of MVT deposits in Northeastern Yunnan(after Wu Junting et al., 2019&)				
矿床	规模、品位	测试方法	年龄(Ma)	数据来源
会泽	7 Mt Pb+Zn 30%	闪锌矿 Rb-Sr 法(矿物)	225.9±1.1(1 号矿体) 224.8±1.2(6 号矿体) 226.0±6.9(10 号矿体) 225.6±3.1(平均)	黄智龙等,2004
		同源矿物(方解石、浅色闪锌矿、黄铁矿、深色闪锌矿、方铅矿)Rb-Sr 法	225.1±2.9(麒麟厂) 225.9±3.1(麒麟厂)	李文博等,2004
		方解石 Sm-Nd 法	225±38(1 号矿体) 226±15(6 号矿体)	李文博等,2004
		方解石 Sm-Nd 法	220±14	刘峰,2005
		伊利石 K-Ar 法	176.5±2.5	张长青等,2005
		方解石 Sm-Nd 法	225±9.9 228±16	Li Wenbo et al,2006
		闪锌矿 Rb-Sr 法(矿物)	223.5±3.9 226±6.4	Yin Mudan et al,2009
		闪锌矿 Re-Os 法	252,226,122, 51 50	韩润生等,2014
		闪锌矿 Re-Os 法	40.7±2.6 Ma	江小均等,2018
毛坪	3 Mt; Pb+Zn25% 30%	闪锌矿 Rb-Sr 法(矿物)	321.7±5.8	沈战武等,2016
乐红	2.4 Mt; Pb+Zn>15%	闪锌矿 Rb-Sr 法(矿物)	200.9±8.3	张云新等,2014
茂租	2 Mt Pb+Zn12% 14%	方解石 Sm-Nd 法	196±13	Zhou Jiayi et al 2013
		闪锌矿 Rb-Sr 法(矿物)	190.5±5.0	王健等,2018
金沙厂	0.42 Mt Pb+Zn4.1% 9.3%	萤石 Sm-Nd 法	201.1±2.9	吴越等,2013
		萤石 Sm-Nd 法	201±6.2	Zhang Changqing et al,2015
		闪锌矿 Rb-Sr 法(矿物)	206.8±3.7	Zhou Jiayi,2015

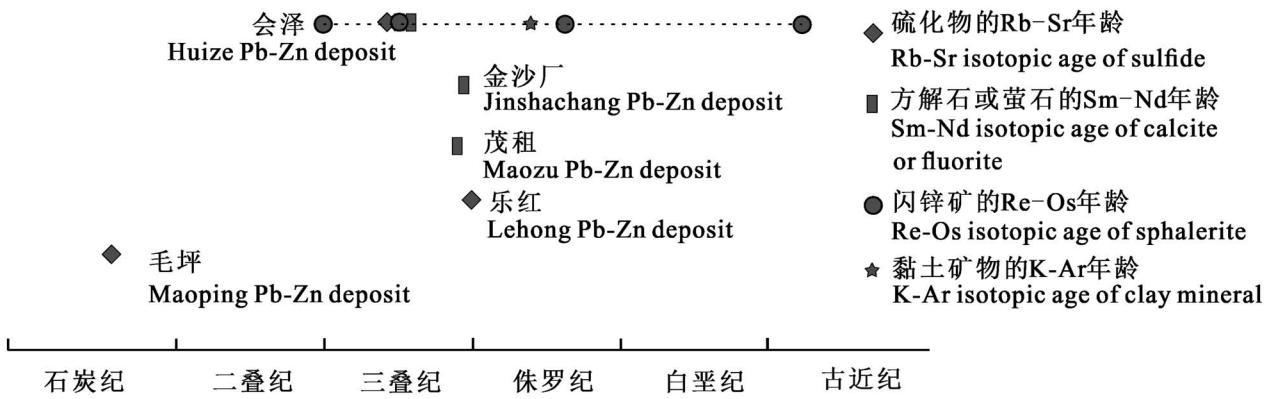


图 2 滇东北 MVT 铅锌矿床成矿时代分布图(据张长青,2008 修改)
Fig. 2 Distribution map of metallogenic age of MVT lead zinc deposit in Northeastern Yunnan
(modified after Zhang Changqing, 2008&)

性,不容易形成封闭体系,因此获得的年龄一般不准确,如果用于测试的样品用量少时,均匀性不高,效果可能更差。因为 Rb-Sr 体系容易被后期地质作用改造,因此仅依靠 Rb-Sr 测年法得到的年龄很难确定其年龄的地质意义。此外还存在另一种情况,由于假等时线经常对 Rb-Sr 法同位素定年产生一定的影响,因此获得的等时线年龄是不存在实际地质意义的,如一些混合成因的岩浆岩体系虽然能够获得良好的等时线,但是由于其初始 Sr 同位素组成未达到均一,因此获得的等时线为假等时线。产生假等时线的根本原因是一组样品的 Sr 同位素初始比不同,因其样品来源复杂多样,达不到均一化的基本条件(陈文等,2011)。

Sm-Nd 法。Sm-Nd 法适合于基性、超基性岩浆岩的定年,Sm-Nd 法存在的问题主要有:由于 Sm 的半衰期非常漫长,所以 Sm-Nd 常被用来测定古老的地质年龄,其等时线年龄分辨率较小,一般大于 20 Ma,因此不能测定年轻样品;在热液活动过程中 Sm 和 Nd 也常处于开放体系,造成各种 Sm、Nd 参数失常,以致无法获得合理的等时线年龄,而对前人多选择用方解石对滇东北地区的矿床进行 Sm-Nd 同位素测年,方解石本身的性质导致其非常容易遭受后期热液活动的蚀变,从而导致得到数据的准确性;等时线理论上要求样品同源、具相近的同位素初始值以及形成后处于封闭体系,这些因素决定了在实际工作中很难得到科学的、合理的等时线年龄(丛宝华等,2011)。白云鄂博矿床 Sm、Nd 含量均很高,有

大量的 Sm-Nd 测年结果发表,但其数值分散于 402 ± 18 Ma ~ 1580 ± 36 Ma(章雨旭等,2008)。章雨旭等(2008)搜集了 98 件前人的白云鄂博矿床内的 Sm-Nd 测年原始数据,重新投影在 $n(^{147}\text{Sm})/n(^{144}\text{Nd})$ — $n(^{143}\text{Nd})/n(^{144}\text{Nd})$ 图中,剔除远离拟合直线的两件异常样品,由 96 件数据获得其等时线年龄为 1125.8 ± 32.5 Ma ($R=0.96325$),但该年龄值仍与地质事实明显不符[围岩中有早古生代的生物化石(章雨旭等,2008;牛绍武等,2016)],与矿石中辉钼矿 Re-Os 模式年龄 439 ± 8 Ma(刘兰笙等,1996) 也差异很大。这都反应了 Sm-Nd 法定年的局限性。

Re-Os 法。目前 Re-Os 法是能够直接测定金属矿床矿化年龄的唯一成熟方法。但是含有辉钼矿的矿床类型非常有限,该方法的应用受到了一定限制,在实验技术和应用技术方面还存在着如下不足:虽然辉钼矿的 Re-Os 法测年技术成熟,应用成果也很多,但近年来也发现有些金属矿床中的辉钼矿 Re-Os 年龄高于其赋矿围岩的年龄,其原因仍不清楚;黄铁矿等多数硫化物矿物含 Re 量明显偏低,并含有一定程度的普通 Os,一般实验室难以达到对样品化学制备过程中低本底的高要求,并且普通 Os 也难以准确扣除;后期的热液活动有时也可以使 Os 同位素发生变化,因此金属硫化物的 Re-Os 同位素体系封闭温度及其影响因素是一个急需解决的问题(陈文等,2011)。另外多数研究只关注年龄及其代表的地质意义,对不同成因硫化物的 Re-Os 同位素体系及其定年基本条件理解不够。

伊利石的 K-Ar 法。常用来测定沉积岩的沉积年龄,这种测年技术近些年在测定油气藏形成时间中应用广泛,原理是:储层自生伊利石是在流动的富钾水介质环境下形成的,当油气进入储集层的孔隙空间后,改变了孔隙空间的流体环境,伊利石的生长便会受到抑制或中止。最晚形成的细粒伊利石分离物的 K-Ar 年龄就是伊利石停止形成的时间,代表油气最早进入储层的时间。张长青等用 K-Ar 法测得会泽铅锌矿第一阶段与黄铁矿共生的伊利石年龄为 176.5 ± 2.5 Ma (张长青等, 2005), 会泽铅锌矿中见到大量沥青 (图 3), 在矿石和围岩中均有分布, 且常与黄铁矿共生, 是早于成矿期的产物, 代表了还原性的流体, 伊利石很有可能是与这期流体作用的产物, 最终成矿期的氧化性流体和早期的还原性流体混合沉淀富集成矿, 因此可以推断成矿期的时间晚于伊利石的形成时间, 即小于 176.5 ± 2.5 Ma。

3.2 区域构造和成矿

3.2.1 冲断褶皱带形成时代

作为扬子克拉通的一部分, 滇东北地区所处的川滇黔接壤地区盖层沉积的自震旦系至白垩系为连续沉积或平行不整合沉积关系, 角度不整合发生于白垩系与古近系之间 (图 4), 而现今呈现的川滇黔地区盖层的强烈褶皱甚至倒转一定是发生大范围褶皱冲断的产物, 因此可以推断这种区域性的褶皱冲断运动不可能发生在震旦纪至白垩纪早期的任何一个时期, 只可能发生于白垩纪晚期, 甚至可能延续到古近纪早期。

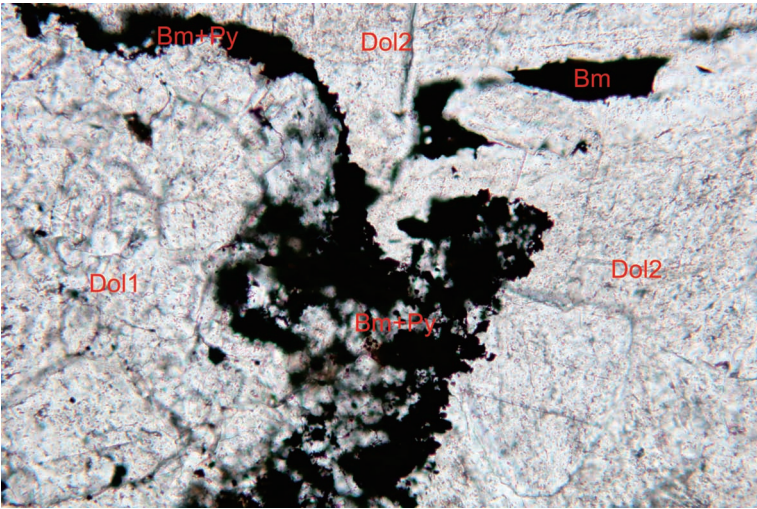


图 3 沥青和黄铁矿共生

Fig. 3 Symbiosis of bitumen and pyrite in Maoping Pb—Zn deposit

Dol—白云石; Bm—沥青; Py—黄铁矿

Dol—dolomite; Bm—bitumen; Py—pyrite

大地构造背景也支持这样的结论。燕山时期, 太平洋板块向亚洲大陆下俯冲在东南沿海地区形成宽阔的火山岩带, 并伴随有走滑和张裂构造, 在火山岩带之西形成 NNE 向褶皱, 变形强度向西越来越弱, 其影响范围终止于四川盆地东部 (王清晨等, 2007)。燕山运动对南方构造格局产生了深远影响, 由于齐岳山以西的四川盆地有刚性的川中陆核及陆壳基底较为稳定, 受影响较弱, 但在除四川盆地外, 燕山运动导致整个南方中生界、古生界产生了褶皱改造及大规模隆升剥蚀, 同时在郯庐断裂—江南隆起以东地区沿 NE 向及 NNE 向断裂产生较强烈的左旋压扭性走滑并局部形成拉分盆地。这期构造运动对除四川盆地以外的整个南方地区的油气主要造成严重改造与破坏作用。到了喜马拉雅期, 南方地区受到强烈的挤压作用, 导致最为稳定的地区四川盆地, 在该期总体挤压、地壳收缩的构造应力场环境下, 齐岳山断裂以西的四川盆地沉积盖层也发生了首次褶皱及冲断变形, 形成了现今所见的川东隔档式 (高陡背斜) 褶皱带以及川西、川中地区的和缓背斜圈闭, 并产生较大规模抬升剥蚀。四川盆地自南华系到古近系各地层间基本属整合或平行不整合接触, 从四川盆地名山、芦山及峨眉山凉水井等地见到新近系凉水井组与古近系之间呈角度不整合; 而古近系名山组与上白垩统灌口组呈连续沉积以及齐岳山断裂东侧的黔江县上白垩统一古近系正阳组明显角度不整合于三叠系—侏罗系之上 (四川省地质

矿产局, 1991) 等地质事件看到, 齐岳山断裂以西的四川盆地沉积盖层的褶皱作用应为古近纪末的喜马拉雅运动, 而齐岳山断裂以东的湘鄂西地区的沉积盖层初次褶皱作用则为燕山运动, 喜马拉雅运动也再次改造了燕山期形成的褶皱, 由此造成以齐岳山断裂为界, 西侧为川东典型的隔档式褶皱而其东侧的湘鄂西地区因发育了燕山期及喜马拉雅期两期褶皱的互相干扰与叠加, 从而形成了背、向斜近等宽的城垛状褶皱 (赵宗举等, 2003)。滇东北地区地处齐岳山断裂以南, 同湘鄂西地区有着相同的构造背景, 说明该地区的冲断褶皱运动最早发生在燕山期, 王奖臻等 (2001) 发现滇东北地区的中侏罗统遂宁组地层也卷入了褶皱, 说明褶皱至少发生在中侏罗世之后 (王奖臻等), 周云满 (2001) 也认为是白垩纪末期与古近纪早

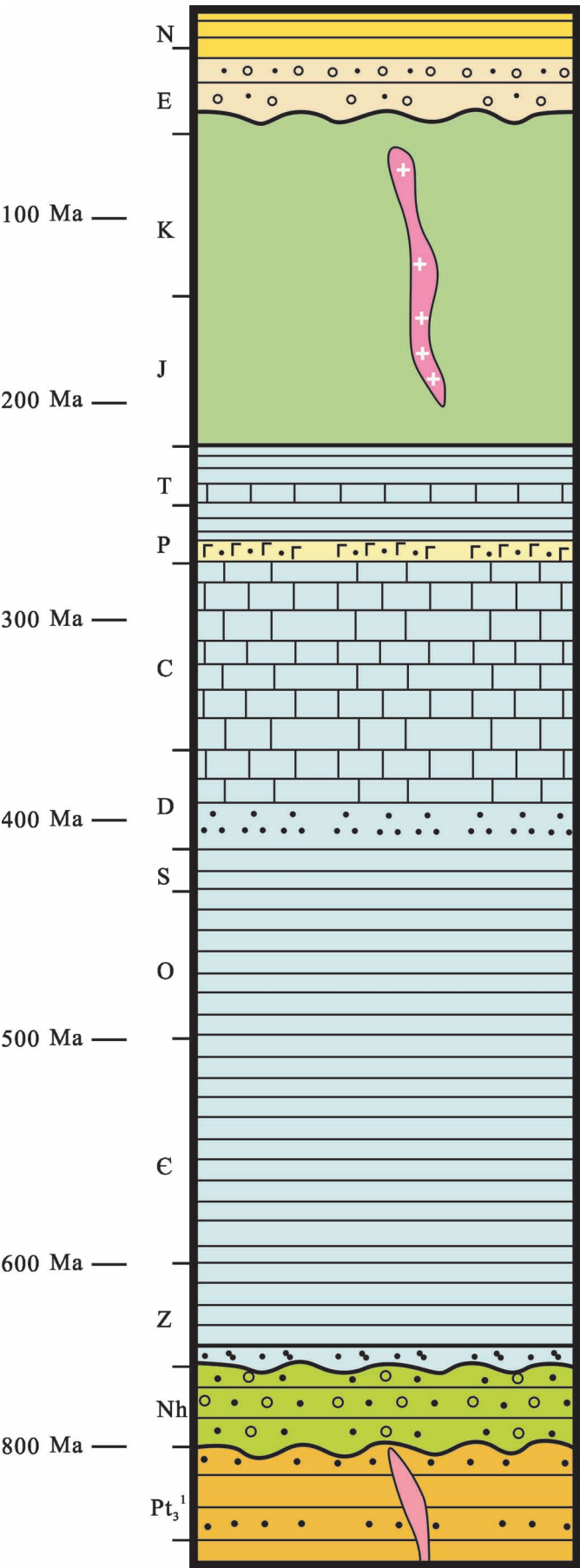


图 4 云南省扬子地台沉积演化示意图(据云南省地质矿产局,1990)

Fig. 4 Schematic diagram of sedimentary evolution of Yangtze Platform in Yunnan Province (modified after Bureau of Geology and Minerals Prospecting and Exploration of Yunnan Province,1990)

期之间的晚燕山运动,使全区发生褶皱变形,结合滇东北地区沉积演化过程,冲断褶皱可能发生在白垩纪—古近纪。

3.2.2 冲断褶皱带与成矿

前人对该地区矿床通过分析实验工作测得了大量的年龄数据,目前看来多集中在三叠世,但是也有不少年轻的年龄数据,王奖臻等(2001)发现汉源唐家矿床充填于燕山期形成的北东向断层中形成之后又被喜马拉雅期构造所破坏,因此认为本区 MVT 铅锌矿床形成于燕山期—喜马拉雅期。江小均等通过对会泽闪锌矿 Re-Os 法定年得到 40.7 Ma 的数据,认为成矿时代为始新世(江小均等,2018),韩润生等(2018)的研究报告中得到会泽闪锌矿 Re-Os 年龄有四组年龄,其中最年轻的一组为 50~51 Ma 的年龄,表明虽然已有的矿床年龄数据虽集中在三叠世,但是仍有不少比较年轻的年龄数据,加之以上提及的 MVT 型矿床金属硫化物的各类同位素测年方法的弊端,地质事实的证据相比起来则更加可靠。

滇东北地区绝大多数 MVT 型褶冲带均分布在 NE 向冲断褶皱带上,可以说褶冲带控制 MVT 铅锌矿的分布(图 1),前人认为褶冲带中的逆冲断层是重要的导矿和控矿构造(韩润生等,2019;周云满,2001),然而逆冲断层性质一般为压扭性导致空间相对封闭,并不利于流体的运移,这在该地区的很多矿床中也得到了证实,例如会泽矿床地表的矿山厂断层和麒麟厂断层中并未发现铅锌矿化的信息,以往地质报告中对会泽矿区开展的构造地球化学工作的结果也显示 NE 向构造中铅锌并无明显的元素异常,在毛坪同样如此。在该地区更普遍的现象是矿体与张性的断层关系更加密切,例如乐红铅锌矿的主要矿体就产在正断层 F2 中(周云满,2003),但是逆冲断层形成过程中沿着断层弧形转折轴部位产生次级拉张空间导致岩石变形破碎强烈可以形成张开部位,从而为矿液提供良好的聚集场所,并且逆冲断层导致的层

间滑脱同样是成矿的有利位置,比较直接的例子就是乐马厂银矿就产在逆冲断层中(周云满,2001)。因此可见逆冲断层和成矿的关系非常密切。从图 1 中可以看到铅锌矿和这些冲断褶皱的分布紧密相关,本文认为褶皱带可能主要是控制油气的分布,滇东北地区晚白垩世以后古气候变得干热,许多盆地都沉积了蒸发岩。这些普遍发育的膏盐层为油气聚集提供了很好的盖层(王清晨,2007)。

研究表明 MVT 型铅锌矿是两种流体混合的结果(张长青等,2008),即富含金属元素偏氧化性的卤水和富含有机质的还原性流体混合导致金属硫化物的沉淀。冲断褶皱造成古油气藏群的强烈改造和破坏,褶皱是良好的油气储存场所,许多变成了古油藏沥青矿(赵宗举,2003),这些油气藏为 MVT 型铅锌矿的形成提供了很好的还原剂。四川盆地现存在大规模的油气田是因为遭受后期改造较弱的结果,而滇东北地区持续的冲断褶皱运动会对油气藏造成破坏,前文已知成矿作用只能是和褶皱冲断作用同期或晚于褶皱冲断作用,但若是成矿作用在发生褶皱冲断作用很长时间以后的话则油气会发生大规模逸散,失去了成矿所需的还原剂很难形成上规模的矿床,因此成矿作用应该与褶皱冲断作用几乎同步。王奖臻等认为燕山—喜马拉雅构造运动期间龙门山—锦屏山迅速隆升崛起为成矿流体原始地下水的大规模流动创造了动力条件(王奖臻,2001),燕山—喜马拉雅时期构造运动驱使热卤水发生长距离迁移,不断从地层中汲取成矿元素,在断层作用下压力释放往上运移最终和还原性流体发生混合沉淀成矿。

由此可推断川滇黔地区尤其是滇东北地区 MVT 铅锌矿应该形成于晚白垩世,可能部分延续至古近纪,这与中国南方 MVT 铅锌矿带的成矿时代相对应(祝新友等,2013)。

4 结论

前人通过不同的同位素测年方法对滇东北 MVT 型铅锌矿床开展了年代学研究,获得了大量的实验数据,但是由于对 MVT 型铅锌矿床展开精确的定年工作很困难,目前主要的同位素测试手段均存在一定的缺陷,导致结果可能并不能反映事实,本文在地质事实的基础上,通过滇东北地区的地层接触关系推断其区域冲断—褶皱事件发生在晚白垩世—古近纪,由于冲断—褶皱事件和成矿事件为同期,因此可认为滇东北 MVT 型铅锌矿床的成矿时代为晚

白垩世—古近纪。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

丛宝华,曹征,潘佩芬. 2011. 浅析同位素测年方法及其应用. 中国西部科技,10(11):54~55.

陈文,万渝生,李华芹,张宗清,戴樟谟,施泽恩,孙敬博. 2011. 同位素地质年龄测定技术及应用. 地质学报,85(11):1917~1947.

韩润生,王峰,胡煜昭,王学焜,任涛,邱文龙,钟康惠. 2014. 会泽型(HZT)富锗银铅锌矿床成矿构造动力学研究及年代学约束. 大地构造与成矿学,38(4):758~771.

韩润生,吴鹏,王峰,周高明,李文尧,邱文龙. 2019. 论热液矿床深部大比例尺“四步式”找矿方法——以川滇黔接壤区毛坪富锗铅锌矿为例. 大地构造与成矿学,43(2):246~257.

黄智龙,陈进,韩润生,李文博,刘丛强,张振亮,马德云,高德荣,杨海林. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因:兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿关系. 北京:地质出版社.

江小均,王忠强,李超,郭忠林,柴建华,邱文龙,王加昇. 2018. 滇东北会泽超大型铅锌矿 Re-Os 同位素特征及喜山期成矿作用动力学背景探讨. 岩矿测试,37(4):448~461.

刘峰. 2005. 云南会泽大型铅锌矿床成矿机制及锗的赋存状态. 导师:王登红,李厚民. 北京:中国地质科学院硕士学位论文,:1~122.

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:60~429

李文博,黄智龙,陈进,韩润生,张振亮,许成. 2004a. 会泽超大型铅锌矿床成矿时代研究. 矿物学报,24(2):112~116.

李文博,黄智龙,王银喜,陈进,韩润生,许成,管涛,尹牡丹. 2004b. 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. 地质论评,50(2):189~195.

刘兰笙,高翎,杜安道,孙亚莉. 1996. 白云鄂博稀土矿床中辉钼矿的铼-钨同位素年龄. 矿床地质,15(2):188~192.

刘文周,徐新煌. 1996. 论川滇黔铅锌成矿带矿床与构造的关系. 成都理工学院学报,23(1):71~77.

牛绍武,张鹏远,孙淑芬,刘永顺. 2016. 多门类化石在内蒙古白云鄂博群中的发现与宽沟群的建立. 地质通报,35(11):1753~1770.

四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 北京:地质出版社:206~566.

沈战武,金灿海,代堰谔,张珂,张海. 2016. 滇东北毛坪铅锌矿床的成矿时代:闪锌矿 Rb-Sr 定年. 高校地质学报,22(2):213~218.

武俊婷,李国猛,李义邦,魏俊浩,王海丰,李鹏. 2019. 川滇黔接壤区 MVT 铅锌矿床年代学研究进展及成矿构造背景. 地质科技情报,38(4):134~144.

王健. 2018. 中上扬子地台西南缘大型铅锌矿床定位规律研究. 导师:张均. 武汉:中国地质大学(武汉)博士学位论文:1~212.

王奖臻,李朝阳,李泽琴,刘家军. 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. 地质地球化学,29(2):41~45.

王清晨,蔡立国. 2007. 中国南方显生宙大地构造演化简史. 地质学报,81(8):1025~1040.

吴越. 2013. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床大规模成矿作用的时代与机制. 导师:毛景文,张长青. 北京:中国地质大学(北京)博士学位论文:1~175.

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京:地质出版社.

张长青,毛景文,刘峰,李厚民. 2005. 云南会泽铅锌矿床黏土矿物 K-

- Ar 测年及其地质意义. 矿床地质, 24(3):317~324.
- 张长青. 2008. 中国川滇黔交界地区密西西比型 (MVT) 铅锌矿床成矿模型. 导师: 毛景文, 余金杰. 北京: 中国地质科学院博士学位论文: 1~177.
- 张云新, 吴越, 田广, 申亮, 周云满, 董文伟, 曾荣, 杨兴潮, 张长青. 2014. 云南乐红铅锌矿床成矿时代与成矿物质来源: Rb-Sr 和 S 同位素制约. 矿物学报, 34(3):305~311.
- 章雨旭, 江少卿, 张绮玲, 赖晓东, 彭阳, 杨晓勇. 2008. 论内蒙古白云鄂博群和白云鄂博超大型稀土—铌—铁矿床成矿的年代. 中国地质, 35(6):1129~1137.
- 张志斌, 李朝阳, 涂光炽, 夏斌, 韦振权. 2006. 川、滇、黔接壤地区铅锌矿床产出的大地构造演化背景及成矿作用. 大地构造与成矿学, 30(3):343~354.
- 赵宗举, 俞广, 朱琰, 周进高, 屠小龙. 2003. 中国南方大地构造演化及其对油气的控制. 成都理工大学学报 (自然科学版), 30(2):155~168.
- 周云满. 2001. 乐马厂银矿逆冲推覆构造特征及控矿作用. 矿床地质, 20(3):271~278.
- 周云满. 2003. 滇东北乐红铅锌矿床地质特征及找矿远景. 地质地球化学, 31(4):16~21.
- 祝新友, 王京彬, 刘慎波, 王艳丽, 韩英, 甄世民, 郭宁宁. 2013. 广东凡口 mvt 铅锌矿床成矿年代——来自辉绿岩锆石 shrimp 定年证据. 地质学报, 87(2):167~177.
- Cong Baohua, Cao Zheng, Pan Peifen. 2011&. Brief analysis of isotope dating method and its application. Science and Technology of West China, 10(11):54~55.
- Chen Wen, Wan Yusheng, Li Huaqin, Zhang Zongqing, Dai Tongmo, Shi Zeen, Sun Jingbo. 2011&. Isotope geochronology: Technique and application. Acta Geologica Sinica, 85(11):1917~1947.
- Han Runsheng, Wang Feng, Hu Yuzhao, Wang Xuekun, Ren Tao, Qiu Wenlong, Zhong Kanghui. 2014&. Metallogenic tectonic dynamics and chronology constrains on the Huize-type (HZT) germanium-rich silver—zinc—lead deposits. Geotectonica et Metallogenia, 38(4):758~771.
- Han Runsheng, Wu Peng, Wang Feng, Zhou Gaoming, Li Wenyao, Qiu Wenlong. 2019&. ‘Four Steps Type’ ore-prospecting method for deeply concealed hydrothermal ore deposits—A case study of the Maoping Zn—Pb—(Ag—Ge) deposit in southwestern China. Geotectonica et Metallogenia, 43(2):246~257.
- Jiang Xiaojun, Wang Zhongqiang, Li Chao, Guo Zhonglin, Chai Jianhua, Qiu Wenlong, Wang Jiasheng. 2018&. Re-Os isotope characteristics of the Huize ultra-large lead—zinc deposit, northeastern Yunnan Province: Constraints on the Himalayan metallogenic dynamic background. Rock and Mineral Analysis, 37(4):448~461.
- Leach D L, Bradley D C, Lewchuk M T, Symons D T, Marsily G D, Brannon J. 2001. Mississippi valley-type lead—zinc deposits through geological time: Implications from recent age-dating research. Mineralium Deposita, 36(8):711~740.
- Li Wenbo, Huang Zhilong, Chen Jin, Han Runsheng, Zhang Zhenliang, Xu Cheng. 2004a&. Rb-Sr dating of mineral assemblage from the Huize giant Zn—Pb deposit, Yunnan Province. Acta Mineralogica Sinica, 24(2):112~116.
- Li Wenbo, Huang Zhilong, Wang Yinxi, Chen Jin, Han Runsheng, Xu Cheng, Guan Tao, Yin Mudan. 2004b&. Age of the giant Huize Zn—Pb deposits determined by Sm-Nd dating of hydrothermal calcite. Geological Review, 50(2):189~195.
- Li Wenbo, Huang Zhilong, Yin Mudan. 2006. Dating of the giant Huize Zn—Pb ore field of Yunnan Province, Southwest China: Constraints from the Sm-Nd system in hydrothermal calcite. Resource Geology, 57(1):90~97.
- Liu Feng. 2005&. The Metallogenic Mechanism of the Huize Lead—Zinc Ore Deposit and the Occurrence of Germanium, Yunnan Province, China. Tutor: Wang Denghong, Li Houmin. Master thesis of Chinese Academy of Geological Science: 1~122.
- Liu Lansheng, Gao Ling, Du Andao, Sun Yali. 1996&. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Bayan Obo REE ore deposit. Mineral Deposit, 15(2):188~192.
- Liu Wenzhou, Xu Xinhuan. 1996&. On the relationship between the deposits and tectonics of the Sichuan—Yunnan—Guizhou Pb—Zn mineralized belt. Journal of Chengdu Institute of Technology, 23(1):71~77.
- Niu Shaowu, Zhang Pengyuan, Sun Shufen, Liu Yongshun. 2016&. The discovery of manifold kind fossils in the Bayan Obo Group in Inner Mongolia and the establishment of the Kuangou Group. Geological Bulletin of China, 35(11):1753~1770.
- Shen Zhanwu, Jin Canhai, Dai Yanpei, Zhang Yu, Zhang Hai. 2016&. Mineralization age of the Maoping Pb—Zn deposit in the northeastern Yunnan Province: Evidence from Rb-Sr isotopic dating of sphalerites. Geological Journal of China Universities, 22(2):213~218.
- Wu Juntao, Li Guomeng, Li Yibang, Wei Junhao, Wang Haifeng, Li Peng. 2019&. Chronology research progress of the MVT lead—zinc deposit in the border area of Sichuan—Yunnan—Guizhou and the background of metallogenic tectonics. Geological Science and Technology Information, 38(4):134~144.
- Wang Jian. 2018&. Localization rules of large Pb—Zn deposits in the southwestern margin of the upper—middle Yangtze block. Tutor: Zhang Jun. Ph. D thesis of China University of Geosciences: 1~212.
- Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Li Zeqin, Liu Jiajun. 2001&. The geological setting, characters and origin of Mississippi valley-type Pb—Zn deposits in Sichuan and Yunnan Provinces. Geology—Geochemistry, 29(2):41~45.
- Wang Qingchen, Cai Ligu. 2007&. Phanerozoic tectonic evolution of South China. Acta Geologica Sinica, 81(8):1025~1040.
- Wu Yue. 2013&. The Age and Ore-forming Process of MVT Deposit in the Boundary Area of Sichuan—Yunnan—Guizhou Province, Southwest China. Tutor: Mao Jingwen, Zhang Changqing. Ph. D thesis of China University of Geosciences (Beijing): 1~175.
- Yin Mudan, Li Wenbo, Sun Xiwen. 2009. Rb-Sr isotopic dating of sphalerite from the giant Huize Zn—Pb ore field, Yunnan Province, Southwestern China. Chinese Journal of Geochemistry, 28(1):70~75.
- Zhang Changqing, Mao Jingwen, Liu Feng, Li Houmin. 2005&. K-Ar dating of altered clay minerals from Huize Pb—Zn deposit in Yunnan Province and its geological significance. Mineral Deposits, 24(3):317~324.
- Zhang Changqing. 2008&. The Genetic Model of Mississippi Valley-type Deposit in the Boundary Area of Sichuan, Yunnan and Guizhou Province, China. Tutor Mao Jingwen. Ph. D thesis Chinese Academy of Geological Science: 1~177.
- Zhang Changqing, Wu Yue, Hou Lin, Mao Jingwen. 2015. Geodynamic setting of mineralization of Mississippi Valley-type deposits in world-class Sichuan—Yunnan—Guizhou Zn—Pb triangle, southwest China: Implications from age-dating studies in the past decade and the Sm-Nd age of Jinshachang deposit. Journal of Asian Earth

Sciences, 103(5):103~114.

Zhang Yunxin, Wu Yue, Tian Guang, Shen Liang, Zhou Yunman, Dong Wenwei, Ceng Rong, Yang Xingchao, Zhang Changqing. 2014&. Mineralization age and the source of ore-forming material at Lehong Pb—Zn deposit, Yunnan Province: Constraints from Rb-Sr and S isotopes system. *Acta Mineralogica Sinica*, 34(3):305~311.

Zhang Yuxu, Jiang Shaoqing, Zhang Qiling, Lai Xiaodong, Peng Yang, Yang Xiaoyong. 2008&. A discussion on forming time of the Bayan Obo Group and ore-forming time of the Bayan Obo giant REE—Nb—Fe deposit, Inner Mongolia. *Geology in China*, 35(6):1129~1137.

Zhang Zhibin, Li Chaoyang, Tu Guangchi, Xia Bin, Wei Zhenquan. 2006&. Geotectonic evolution background and ore-forming process of Pb—Zn deposits in Chuan—Dian—Qian area of southwest China. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(3):343~354.

Zhao Zongju, Yu Guang, Zhu Yan, Zhou Jingao, Tu Xiaolong. 2003&. Tectonic evolution and its control over hydrocarbon in southern China. *Journal of Chengdu University of Technology (science&technology edition)*, 30(2):155~168.

Zhou Jiaxi, Huang Zhilong, Zhou Meifu, Li Xiaobiao, Jin Zhongguo. 2013. Constraints of C—O—S—Pb isotope compositions and Rb-Sr isotopic age on the origin of the Tianqiao carbonate-hosted Pb—Zn deposit, SW China. *Ore Geology Reviews*, 53(5):77~92.

Zhou Jiaxi, Bai Junhao, Huang Zhilong, Zhu Dan, Yan Zaifei, Lü Zhicheng. 2015. Geology, isotope geochemistry and geochronology of the Jinshachang carbonate-hosted Pb—Zn deposit, southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 98(5):272~284.

Zhou Yunman. 2001&. Characteristics and ore-controlling role of the thrusting nappe structure in the Lemachang silver deposit. *Mineral Deposits*, 20(3):271~278.

Zhou Yunman. 2003&. Geological characteristics of the Lehong lead—zinc deposit in northeastern yunnan and its ore-search prospects. *Geology—Geochemistry*, 31(4):16~21.

Zhu Xinyou, Wang Jingbin, Liu Shenbo, Wang Yanli, Han Ying, Zhen Shimin, Guo Ningning. 2013&. Metallogenica age of Mississippi valley type Pb—Zn deposit in Fankou, Guangdong: Evidence from SHRIMP U-Pb zircon dating of diabase. *Acta Geologica Sinica*, 87(2):167~177.

Discussion on the metallogenic age of Mississippi Valley-type(MVT) lead—zinc deposit in Northeastern Yunnan

JIANG Binbin¹⁾, ZHU Xinyou²⁾, HUANG Xingkai¹⁾, ZHAO Weice¹⁾, LÜ Xiaoqiang²⁾, LIU Zi¹⁾

1) *Beijing institute of geology for mineral resources Co. ,LTD. ,Beijing*, 100012;
2) *Sino-Zijin Resource Ltd. , Beijing*, 100012

Abstract: Northeastern Yunnan is an important production base of lead—zinc mineral products in China. There are many large-scale MVT type lead—zinc deposits in the area, and some deposits such as Huize are super large. A large number of geochronological studies have been carried out on the lead—zinc deposits in this area, and a large number of metallogenic ages have been obtained, this paper is based on the analysis of the disadvantages of various isotopic dating methods used in this type of deposit and the geological tectonic events in Northeastern Yunnan, geological facts show that from the late Sinian to early Cretaceous, the strata in northeastern Yunnan are in conformity or parallel unconformity contact, so it is inferred that the large-scale thrust fold event occurred in the region during the late Cretaceous to early Tertiary, and the regional thrust fold belt controlled the occurrence of MVT type lead—zinc deposits in northeastern Yunnan, Therefore, it is considered that the mineralization age of MVT type Pb Zn deposit in Northeastern Yunnan is from Late Cretaceous to early Tertiary.

Keywords: northeast Yunnan; lead—zinc deposit; MVT; metallogenic age

Acknowledgements: This article was support by China Copper Co. , Ltd(No. [2019]048)

First author: JIANG Binbin, male, born in 1991, middle engineer, mainly engaged in study on metallogenic regularity and prospecting prediction, Email: jbb_geo @ 163. com

Manuscript received on: 2021-06-08; Accepted on: 2021-12-07; Network published on: 2021-12-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2021. 12. 095

Edited by: ZHANG Yuxu, ZHAO Xue