

湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿 矿床地质特征及成因探讨

赵爽¹, 潘文¹, 杨胜堂¹, 尹廷龙¹, 蒋天锐¹, 田景江¹, 陈玲², 覃智贵¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 103 地质大队, 贵州 铜仁 554300; 2. 贵州省地矿局
黔东地矿测试中心, 贵州 铜仁 554300)

[摘要]湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿严格赋存于台地边缘礁滩相产出的藻礁灰岩中, 其实质属断裂构造控矿, 具有 MVT 型矿床的典型特征。成矿时代可能为晚志留世至早石炭世。(中)低温度、中高盐度流体从上地壳岩石地层中浸出铅锌, 顺断裂通道运移至碳酸盐岩围岩中, 围岩受水岩反应和交换作用释放的海水硫酸盐经热化学还原作用转化为还原硫, 还原硫与铅锌金属络合物相结合而成矿。该类成矿过程中受区域挤压应力影响的断裂构造始终起到至关重要的作用。

[关键词]湘西—黔东北; 下寒武统; 铅锌矿; 礁滩相; 构造控矿; 成矿过程

[中图分类号]P618.42; P618.43 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2016)04-0257-08

1 引言

湘西—鄂西成矿带地处上扬子板块东南缘, 北接秦岭造山带, 南邻湘桂地块, 是中国重要成矿带之一, 具有良好的成矿地质背景和控矿条件(曹亮等, 2010; 陈超等, 2010; 雷义均等, 2013; 刘文均, 1984; 芮宗瑶等, 2004; 周云等, 2014)。其中湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿位于该成矿带西南部湘黔毗邻区, 现已发现了李梅、芭茅寨、狮子山、清水塘、大脑坡、杨家寨、嗅脑、卜口场等一批铅锌矿床。基于这些铅锌矿床的地质勘查与矿产开发, 前人针对其地质特征(陈明辉等, 2011; 罗卫等, 2009; 杨邵详等, 2007)、地球化学特征(蔡应雄等, 2014; 杨邵详等, 2007; 李堃等, 2014)、成矿作用(李宗发, 1991; 刘劲松等, 2012; 刘文均, 1999; 王华云, 1996)、成矿时代(廖振文等, 2015; 周云等, 2014)等进行了大量的总结和研究工作, 并取得了丰硕成果。然而提出的矿床成因类型却是多种多样, 处于一个百家争鸣的状态, 以至于该区铅锌矿床至今尚未建立统一的成

矿模式。本文在前人研究的基础上, 根据近年来所承担的湘西—黔东北地区铅锌矿床成矿机制研究课题研究成果并结合个人以往的工作, 系统收集整理湘西—黔东北地区下寒武统典型铅锌矿床地质勘查成果资料, 归纳总结了矿床地质和地球化学特征, 在此基础上, 着重讨论成矿过程, 望能为研究区铅锌矿成因类型的总结和成矿模式的建立提供一定的参考。

2 区域地质背景

湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿位于扬子微板块(扬子准地台)—上扬子地块东南部边沿与江南地块的过渡带上。区内地层除缺失石炭系、侏罗系和第三系外, 自元古界至新生界均有分布, 以寒武系地层发育最完整, 分布最为广泛; 岩浆活动不明显, 局部地区发现有小规模的基性—超基性岩体。受武陵、雪峰—加里东、海西、印支—燕山—喜马拉雅多期构造运动的叠加影响, 区内褶皱、断裂发育。北东向古丈复背斜和桑植复向斜是区域上主要褶皱; 以三阳断裂(花垣—

[收稿日期]2016-11-01

[基金项目]贵州省地质矿产勘查开发局地质科学研究项目《湘西—黔东北地区铅锌矿床成矿机制研究》(编号:黔地矿科合[2015]02号)资助。

[作者简介]赵爽(1988—), 男, 硕士研究生, 地质工程师, 从事矿床地质工作。

张家界断裂)、保铜玉屏断裂(麻栗场断裂)主干深大断裂和红石断裂(两河-长乐断裂)区域性地表断裂为主体构造,总体构成了向北东张家界方向收敛、向南西贵州撒开的帚状弧形北东向构

造格架。该构造严格控制着区域内地层岩性、岩相古地理和一系列次级断裂、褶皱构造发育与展布,还控制着区域内众多的物化探异常、矿(化)点和矿(床)体的空间分布及其发育(图1)。

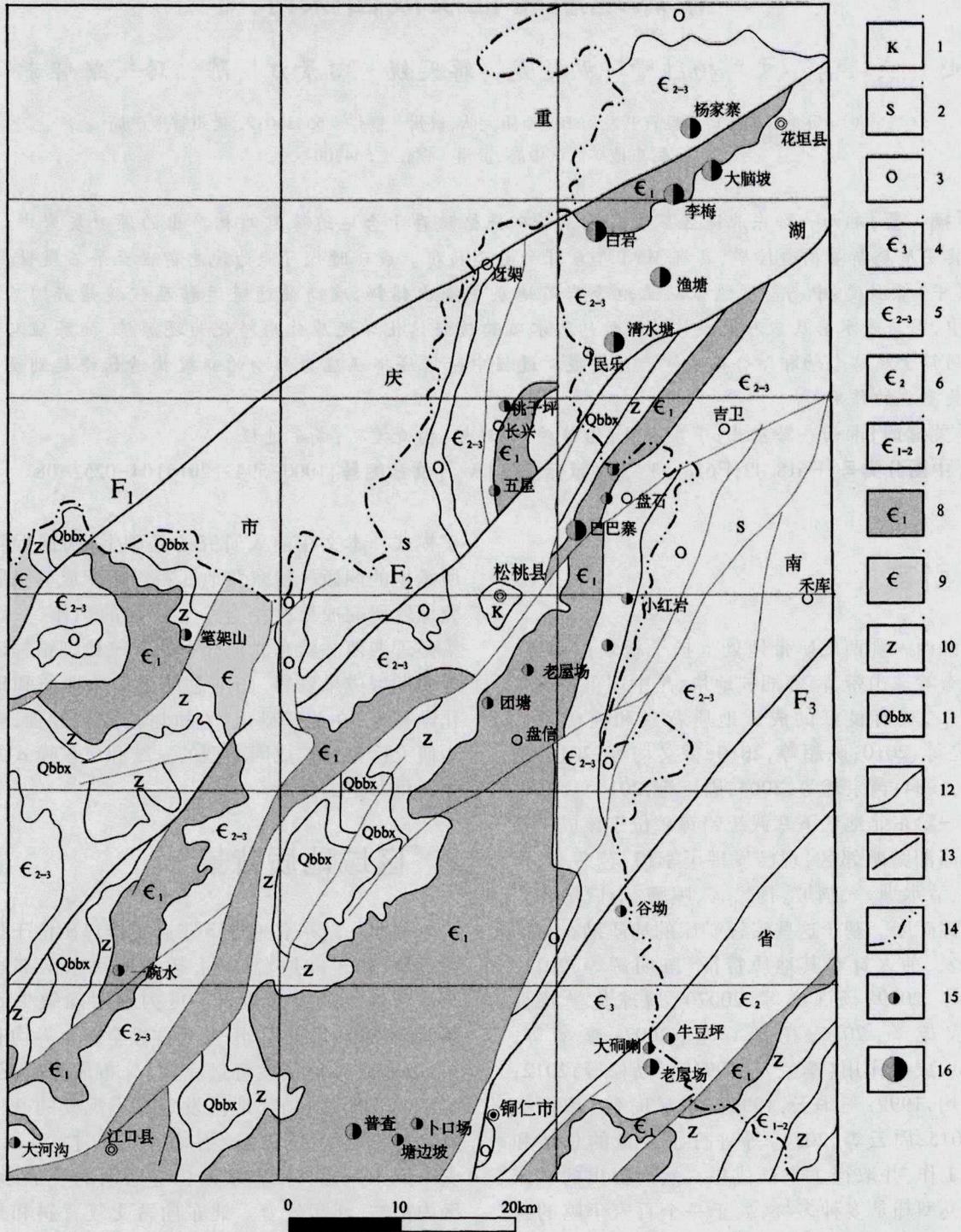


图1 研究区区域地质简图及铅锌矿分布图

Fig. 1 Geological sketch map and the lead-zinc deposits distribution of the target area

1—白垩系;2—志留系;3—奥陶系;4—上寒武统;5—中-上寒武统;6—中寒武统;7—中-下寒武统;8—下寒武统;9—寒武系;10—震旦系;11—青白口系板溪群;12—地层界线;13—断层;14—省界;15—小型矿床(点);16—中-大型矿床;F₁—三阳断裂(花垣-张家界断裂);F₂—红石断裂(两河-长乐断裂);F₃—保铜玉屏断裂(麻栗场断裂)

3 矿床地质

3.1 容矿地层

湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿主要产于清虚洞组,该组与下伏石牌组(黔东北称杷郎组)和上覆高台组为连续沉积,呈整合接触。该组岩性可分为上下两段,下段灰岩段可分为4个亚段,上段白云岩段可分为2个亚段。

下段第三亚段(E_1q^{1-3})为一套上台缘障壁海藻礁灰岩建造,为区内铅锌矿床主要赋矿层位。岩性为灰—浅灰色巨厚层状(或块状层)泥晶—细晶藻灰岩,底部和上部夹灰色厚—巨厚层状亮晶藻屑灰岩(图2-A)和砂屑灰岩(图2-B)。顶部见大型滑动变形层理,粒序层理,风暴截切构造,袋模,渠模,浪成沙纹层理。岩石中鸟眼藻腐孔(图2-C、图2-D)或压溶缝合线孔隙斑状方解石脉石发育。藻灰岩中主要以簇状表附藻为主(图2-E),可见棘皮、三叶虫、介形虫等生物碎片(图2-F)。该亚段特殊沉积建造成因,致使区内厚度变化较大。从平面上看,藻类组合越复杂,藻灰岩叠加厚度越大。

下段第四亚段(E_1q^{1-4})为区内铅锌矿床次要赋矿层位。岩性为灰色—浅灰色厚—巨厚层状亮晶、泥晶粒屑、鲕粒灰岩,粒屑以粉—细砂屑为主,部分为砾屑,常为藻屑、藻团粒(图2-G、图2-H),有一定的分带性:覆盖于藻礁核上部的以亮晶藻屑结构为主,往两侧过渡为泥晶杂屑结构(砂屑、藻屑、鲕粒、生物碎片等混杂)为主导。岩石具大型楔状、槽状、板状交错层理,韵律层理。

3.2 控矿构造

区内铅锌矿体严格赋存于下寒武统清虚洞组藻灰岩内,藻礁体的生长、发育受控于当时的沉积环境。麻栗场断裂(保靖—铜仁—玉屏断裂)主干深大断裂作为本区寒武纪沉积相分界线,控制了台盆格局及台缘礁滩相的展布,因而也就决定了区内铅锌矿体的具体空间产出部位。区内断裂构造发育,常形成被一系列断层切割的断块构造,规模较大的断裂多期活动,促使这些断块之间的相互运动,在各个岩层断块中形成一系列稀疏不一的次级小断裂、小裂隙、节理、层间破碎带等构造,为含矿热液的运移和聚集储存提供了通道和容矿空间。一般情况下,断裂及裂隙构造发育的

地方矿化作用较强,特别是小构造密集发育成网的地方,常形成较富的铅锌矿体。

3.3 矿体特征

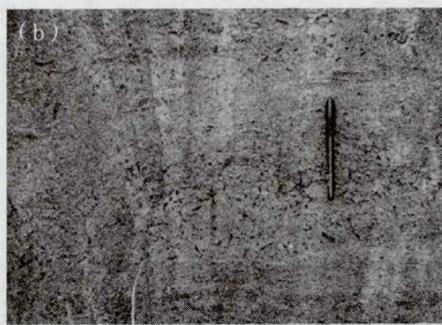
区内铅锌矿体总体具有相似的矿体特征:大多数矿体形态简单,以层状、似层状为主,顺层透镜体状、脉状次之。层状、似层状矿体受含矿岩层控制,其产状与围岩基本一致;顺层透镜体状矿体产出与含矿岩层接近整合状;脉状矿体在容矿岩层中沿裂隙分布,产状呈无规律的变化。局部地段受断层影响导致矿体倾角突变,或含矿岩层呈缓波状弯曲,致使矿体的倾向及走向不明显。

研究区大多数铅锌矿区内,矿体在含矿岩层中的上、中、下部位集中分布较明显,矿化部位三分性特征突出。该特征在单工程中(垂向上)呈现出不稳定的表现有:①矿化层数不稳定,在1—17层之间变化;②在这三个矿化集中部位中矿体之间的间隔大小不一,在2 m~11 m之间变化;③在上、中、下三个矿化集中部位的矿体分布也不稳定,如在三个矿化集中部位均分布有矿体,或只在上、下两个部位分布矿体,或只在中部位分布矿体。从平面分布情况来看,矿体总面积与金属量分布较均匀,但矿石量分布不均匀,中部所占比例可高达90%以上,其表明:中部矿体厚度大、品位低,富矿石集中分布于下部和上部。

同一铅锌矿床内矿体数量较多,其矿体大小差异悬殊,矿体厚度、品位变化较大。比如湖南省花垣县大脑坡矿区,共圈定25个矿体,大型、中型、小型矿体个数分别为13个、6个、6个,其所含金属量占矿区总金属量的比例分别为93.03%、5.98%、0.99%;最大矿体长5300 m、宽1370 m,最小矿体(由单工程控制)长宽均不到200 m,矿体平均厚度在1.10 m~3.85 m,Pb平均品位0.11%~1.31%,Zn平均品位0.27%~8.60%;单个矿体中厚度变化系数为9.87%~112.26%,Pb品位变化系数为4.91%~141.42%,Zn品位变化系数为3.34%~134.24%。清水塘矿区共圈定42个矿体,大型、中型、小型矿体个数分别为6个、10个、26个,其所含金属量占矿区总金属量的比例分别为83.14%、14.20%、2.66%。通过简易对比,各矿床矿体又有如下特征:大型矿体个数在矿床中不一定占优势,但矿床总金属量的绝大部分赋存在大型矿体中;小型矿体个数在矿床中可能占有一定优势,但其所赋存的金属量也只占矿床总金属量的极少部分。



(a) 浅灰色巨厚层亮晶藻屑灰岩, 闪锌矿(断续细条状小突起)在岩石风化面氧化形成皮壳状异极矿



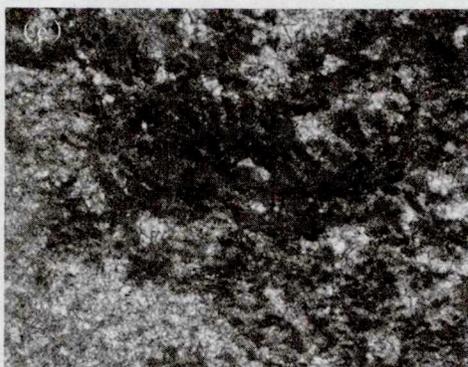
(b) 浅灰色厚层砂屑灰岩



(c) 藻腐孔形成的斑点状锌矿石



(d) 藻腐孔形成的鸟眼状构造



(e) 藻灰岩镜下簇状表附藻, d=2.24 mm (-)



(f) 藻灰岩镜下棘皮、介形虫生物碎片, d=2.24 mm (-)



(g) 灰色含砾屑亮晶泥晶藻团核形石灰岩



(h) 含砾屑亮晶泥晶藻团核形石灰岩镜下藻团粒与核形石

图2 研究区铅锌矿含矿层野外照片及薄片照片

Fig. 2 Outcrop and thin sections pictures of ore bearing strata of the lead-zinc deposits in the target area

3.4 矿石特征

各矿床矿石类型及构造比较相似。矿石矿物主要有闪锌矿,次为方铅矿、黄铁矿,微量矿物有磁铁矿、黄铜矿、白铁矿、磁黄铁矿等。脉石矿物主要有方解石,次为白云石,少量重晶石、石英、萤石、沥青、石膏。一般方解石、白云石、闪锌矿、黄铁矿分布广,沥青主要分布于含矿体顶部,方铅矿含量在含矿体内含量自上而下总体上降低。矿石结构以自形一半自形晶粒结构为主,少量他形显微晶粒结构、包含结构、填隙结构、溶蚀结构、渗透交代结构、交代残余结构、乳浊状结构、变胶状结构、碎裂结构、揉皱结构等。矿石构造以斑脉状为主,脉状次之,浸染状占比例少,偶见环带状、球粒状、角砾状、晶洞状等构造。

3.5 矿化蚀变类型

区内矿床普遍存在方解石化、白云石化、黄铁矿化、重晶石化、沥青化、褪色化、硅化等蚀变类型。

方解石化分布最为广泛,出现频率最高,其生成世代长远,按其形成时间分为成矿前一成矿期方解石脉与成矿后方解石脉。前者常为大致顺层分布而形成网脉状、斑点状、花斑状,另为沿高角度张节理或张性断裂破碎带产出,其与成矿关系密切,边缘与围岩之间常见铅锌矿化,容矿层内矿化的强弱与该类型方解石化呈正相关关系。后者以线状为主,网脉状次之,花斑状极少见,不含矿,常切割矿脉。

白云石化主要发生在后生热液蚀变阶段,白云石多沿各种孔隙或微裂隙以细脉产出,自形程度高,其粒径一般在0.1 mm~0.2 mm。有时交代范围较大而形成交代白云岩,与矿化关系不密切。藻灰岩发育区,一般仅有微弱的白云石化,表现为白云石呈单个小晶体沿缝合线或藻腐孔分布。

黄铁矿化可大致分为两大类,第一类为成岩过程中形成的黄铁矿,其颗粒一般很细、多为粉末状,多沿成岩压溶缝合线呈草莓形态分布,与成矿无关;第二类为成矿期形成的黄铁矿,为细一中粗晶粒状结构,常与铅锌矿化相伴出现。

重晶石化分布较为局限,常呈粗大的板柱状晶形,多呈网脉状与不规则斑块状集合体分布,但其与铅锌矿成矿关系密切,常与方解石脉共生,与

方解石化时间相当,重晶石化发育的地方往往是铅锌相对富矿产出的位置。

沥青化主要与含有机炭的深色灰岩产生褪色化析出有关,常呈黑色斑点状及不规则团块分布,以藻腐孔、微裂隙、缝合线内多见,一般与铅锌矿化呈共生关系。

褪色化主要表现为藻灰岩原岩颜色为灰—深灰色,经蚀变后常成浅灰色—灰白色,但原岩的结构尚未发生变化,在化学成分上有机炭含量相对减少。单一的褪色化一般不具铅锌矿化,与其它蚀变类型结合才能形成矿化。

硅化主要发生在断裂带附近,使白云石、重晶石等微弱硅化,岩石变硬,与矿化无明显关系。

4 矿床地球化学

4.1 成矿流体特征

成矿流体温度多以闪锌矿、方解石(成矿期形成)矿物中流体包裹体测试的均一温度来确定。选取成矿期形成的方解石来指示整个成矿期的成矿流体温度,其变化范围为74℃~240℃;以闪锌矿来指示主成矿期成矿流体温度,其变化范围在80℃~180℃之间。成矿流体盐度范围为1.90%~38.27% NaCl,富铅锌矿区多为14%~30% NaCl,矿区外围及多数矿点其盐度低于10% NaCl。成矿流体组分为Cl⁻、Na⁺、Ca²⁺、K⁺、Mg²⁺,并且钠离子的含量大于钾离子,钙离子大于镁离子,氯离子大于氟离子;气相组分中主要有H₂O、CO₂、CO、H₂、CH₄,其中CH₄普遍存在,具有较强的CO₂成分特征峰。综述成矿流体为(中)低温、中高盐度的含矿溶液,具有明显的热卤水性质。

4.2 同位素地球化学

引用前人所做铅同位素数据(表1),研究区内铅同位素组成²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb分别为18.028~18.235、15.642~15.811、38.111~38.663,极差分别为0.207、0.169、0.552,就整个研究区而言铅同位素分布相对稳定。以Zartman R E et al. (1981)提出的铅构造模式图作为底图,采用铅同位素数据投影法,大部分数据点落于上地壳铅附近及其上方,少部分落于上地壳铅与造山带铅之间,表明其铅源复杂,以壳源为主,造山带铅次之(蔡应雄等,2014)。

表1 统计研究区内 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 20.32‰~37.2‰, 据热液矿床中碳、硫同位素系统的研究成

果(Ohmoto Hiroshi, 1972), 判别硫主要来源于海水硫酸盐。

表1 研究区主要铅锌矿床铅、硫同位素组成

Table 1 Lead and sulfur isotopic composition of minerals from the lead-zinc deposits in the target area

	渔塘	嗅脑	卜口场
方铅矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	18.150 ~ 18.235	18.028 ~ 18.208	18.153 ~ 18.197
方铅矿 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.687 ~ 15.798	15.642 ~ 15.811	15.721 ~ 15.745
方铅矿 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	38.222 ~ 38.576	38.111 ~ 38.663	38.179 ~ 38.387
方铅矿 $\delta^{34}\text{S} / \text{‰}$	22.46 ~ 26.05	26.3 ~ 29.3	22.8 ~ 28.6
闪锌矿 $\delta^{34}\text{S} / \text{‰}$	20.30 ~ 31.33	32.9 ~ 34.9	35.5 ~ 37.2
黄铁矿 $\delta^{34}\text{S} / \text{‰}$	19.69 ~ 25.70	/	/

参考文献:王华云,1993;王育民,1988;蔡应雄,等,2014;蔡应雄,等,2014。

围岩方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-0.54\text{‰} \sim 1.05\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $20.77\text{‰} \sim 23.89\text{‰}$, 成矿期方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-1.12\text{‰} \sim 1.50\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $14.59\text{‰} \sim 23.74\text{‰}$ (蔡应雄等, 2014)。围岩碳、氧同位素值范围与其他地区的碳酸盐岩的碳氧同位素组成基本相同, 表明其基本为沉积成因; 成矿期方解石的氧同位素值略低于围岩的氧同位素值, 这可能与成矿流体和围岩的水岩反应和交换作用有关。

主成矿早中期的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $2.1\text{‰} \sim 21.0\text{‰}$, δD 值为 $-54.0\text{‰} \sim -16.0\text{‰}$, 晚期的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-5.6\text{‰} \sim 2.7\text{‰}$, δD 值为 $-48.0\text{‰} \sim -22.0\text{‰}$ (刘文均等, 2000), 氢氧同位素组成在成矿期变化普遍较大, 与早中期相比晚期其组成总体上具有较为明显的下降趋势, 表明成矿热液系统具有一定程度上的变化特征, 雨水的渗入是最大可能或最直接的影响因素, 只不过因渗入的比例不同而受到的影响程度大小不同而已。

5 矿床成矿过程讨论

5.1 矿床特征

综上所述, 湘西—黔东北地区上寒武统铅锌矿床具有以下特征: 矿床多产于清虚洞组下段(灰岩段)第三亚段较厚的藻礁灰岩中, 具有较明显的岩控或层控特征; 所有矿床均受一定的断裂系统的控制, 矿体赋存于该构造空间之中; 矿床具有后生成矿的特点; 矿物组合简单, 主要为闪锌矿、方解石, 次为方铅矿、白云石、黄铁矿, 少量重晶石、石英、萤石、沥青、石膏, 矿物结晶较粗, 肉眼

清晰易辨; 绝大多数矿床以富锌为主, 富铅次之, 仅少数为单锌矿床; 共(伴)生矿产主要有银、镉等, 其中银多具有工业规模价值。矿床主要矿物的流体包裹体均一温度为(中)低温, 中高盐度。系列同位素地球化学分析表明铅源多为上地壳及造山带, 硫源多为同时代的海水硫酸盐, 成矿流体在主成矿早中期及之前以地层封存水为主体, 后期伴有大气降水的渗入。以上特征均符合典型MVT型矿床的特征。

5.2 成矿时代

铅锌矿床中缺少常用定年矿物, 因而同位素测年技术在铅锌矿定年方面得到了广泛的推进与应用, 其定年方法多种多样, 又以 Rb-Sr 测年应用最为广泛(李发源等, 2003)。全球 MVT 型矿床主要成矿时代为泥盆纪—三叠纪早期和白垩纪—第三纪两个时期, 又以泥盆纪—三叠纪早期为主, 其成矿与全球大尺度汇聚构造密切相关(Leach D L et al., 2001; Braley D C et al., 2003)。廖振文等(2015)认为黔东北地区卜口场铅锌矿床形成于加里东运动后期之华夏板块与扬子板块后碰撞过程中, 闪锌矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 $349.6 \pm 9.1 \text{ Ma}$ 。周云等(2014)获得湘西地区狮子山铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 $409 \pm 11 \text{ Ma}$ 。

5.3 成矿物质来源

硫同位素特征指示硫主要来源于同时代的海水硫酸盐, 碳、氧同位素分析结果证明了成矿流体和围岩的水岩反应和交换作用的存在性, 即是围

岩(容矿地层)是最有可能的硫源。铅同位素组成特征表明铅主要来源于上地壳地层,少量来源于造山带。清虚洞组地层铅锌含量均值并未出现异常高的丰度,普遍低于克拉克值,其提供成矿物质的可能性较小,也就是铅锌成矿元素在就位清虚洞组容矿地层之前,至少有过一次初始富集的过程(陈详伦,1991;钟九思等,2007),其中下寒武统牛蹄塘组最有可能是区内的主要矿源层(汤朝阳等,2012;双燕等,2014),同时震旦系碳酸盐岩在内的下伏地层也具有成为矿源层的可能性(廖振文等,2015)。

5.4 成矿过程认识

前人对于湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿床为后成矿床的观点趋于一致。各矿床之间本身存在诸多差异,致使在成因方面仍有不同的认识。笔者在总结前人成果和实地考察、室内分析的基础上,认为湘西—黔东北地区下寒武统铅锌矿床成矿过程按大致时间可以简化为:藻灰岩沉积→铅锌析出→成矿流体浸入→铅锌沉淀→富集成矿。

保靖—铜仁—玉屏断裂为本区寒武纪沉积相分界线,至早寒武世(中)晚期,该断裂带西北为上扬子碳酸盐岩台地相,向东南依次为台地边缘礁滩相—保靖—铜仁—玉屏深大断裂带—碳酸盐岩台地边缘斜坡相。藻灰岩即为台地边缘礁滩相的产物,其分布呈北东向带状、环于台地相边缘。

至中奥陶世—早志留世期间,较为稳定的沉积环境转为区域挤压为主的构造背景,构造(岩浆)增热推进铅锌矿源层中的膨胀粘土向非膨胀粘土、进而向云母的转变。当温度达到95℃大大地促进蒙脱石转变成伊利石时,铅锌矿源层的孔隙流体具有最大的含氯量,铅锌矿质已开始从非膨胀粘土中浸出;进一步增温过程中,含氯浓度会轻微变小,直到当离子渗滤浓缩的影响超过由硅酸盐矿物脱水释放结构水稀释的影响时,这浓度便可以持续到更大的深度和较高的温度;当温度达到110℃蒙脱石完全转变成伊利石后,在非膨胀粘土转变为云母期间,便能从非膨胀粘土中有效地浸出铅锌矿质。

在加剧的挤压应力作用下,主干断裂构造活动强烈且频繁,其周边常形成被一系列断层切割的断块构造,这些断块构造便是由一系列稀疏不一的次级小断裂、小裂隙、节理、层间破碎带等组

成的构造空间,主要是在近地表能干性较强的碳酸盐岩层。同时成矿流体增加了自身温度,获得了足够的动力,沿主干断裂带从深部向浅部(纵向)运移,到达近地表后成矿流体一部分经切割断块构造的断裂进行水平(横向)运移,另一部分便浸入断块内部的构造空间内,待赋存环境趋于稳定后,一定量的雨水便能向下渗入与之混合。

志留纪末期,褶皱造山主要发育在黔东南地区,区内处于加里东造山带外带,构造应力相对消减,但仍有来自造山带的成矿流体不断运移至容矿空间内。成矿流体和碳酸盐岩围岩发生水岩反应和交换作用,围岩释放大量的海相沉积硫酸盐,再通过热化学还原作用转化为还原硫(蔡应雄等,2014;周云等,2014;双燕等,2014)。还原硫即促使成矿流体中的铅、锌矿质沉淀。

[参考文献]

- 蔡应雄,杨红梅,段瑞春,等. 2014. 湘西—黔东下寒武统铅锌矿床流体包裹体和硫、铅、碳同位素地球化学特征[J]. 现代地质, 28(1): 29-41.
- 曹亮,段其发,彭三国,等. 2010. 湘西—鄂西地区铅锌矿成矿规律及找矿方向[J]. 矿床地质, 29(增刊): 1069-1070.
- 陈超,曹晓峰,王玉奇,等. 2010. 扬子地台周缘铅锌矿成矿特征及成矿规律[J]. 资源环境与工程 24(4): 333-340.
- 陈明辉,胡祥昭,鲍振襄,等. 2011. 湖南渔塘铅锌矿集中区地质特征及成矿问题讨论[J]. 地质与勘探, 47(2): 251-260.
- 陈详伦. 1991. 论川、湘、黔交界地带汞、铅、锌矿床的控矿主因[J]. 四川地质学报, 11(3): 202-206.
- 雷义均,戴平云,段其发,等. 2013. 鄂西—湘西北地区铅锌矿源层对铅锌矿床产出定位的制约[J]. 桂林理工大学学报, 31(1): 1-6.
- 李发源,顾雪祥,付绍红等. 2003. MVT 铅锌矿定年方法评述[J]. 地质找矿论丛, 18(3): 163-167.
- 李莹,吴昌雄,汤朝阳,等. 2014. 湘西黔东地区铅锌矿床 C、O 同位素地球化学特征及其对成矿过程的指示[J]. 中国地质, 41(5): 1608-1619.
- 李宗发. 1991. 湘西黔东地区铅锌矿成因初步探讨[J]. 贵州地质, 29(4): 363-371.
- 廖震文,王生伟,孙晓明,等. 2015. 黔东北地区 MVT 型铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 34(4): 769-785.
- 刘劲松,邹先武,汤朝阳,等. 2012. 湘西黔东地区铅锌矿床与古油藏关系初探[J]. 华南地质与矿产, 28(3): 220-225.
- 刘文均. 1984. 我国东部地区产于碳酸盐岩中层控铅锌矿床的区域特征[J]. 矿床地质, 3(3): 38-46.
- 刘文均,郑荣才. 1999. 花垣铅锌矿床包裹体气相组分研究—MVT 矿床有机成矿作用研究(II)[J]. 沉积学报, 17(4): 608-614.
- 刘文均,郑荣才. 2000. 花垣铅锌矿床成矿流体特征及动态[J]. 矿床地质, 19(2): 173-181.

- 罗卫,尹展,孔令,等.2009.花垣李梅铅锌矿集区地质特征及矿床成因探讨[J].地质调查与研究,32(3):194-202.
- 芮宗瑶,叶锦华,张立生,等.2004.扬子克拉通周边及其隆起边缘的铅锌矿[J].中国地质,31(4):337-346.
- 双燕,付绍洪,朱正杰,等.2014.渝东南秀山石堤铅锌矿S、Pb同位素地球化学特征与成矿物质来源探讨[J].矿物学报,34(4):496-502.
- 汤朝阳,邓峰,李莹,等.2012.湘西-黔东南地区早寒武世沉积序列及铅锌成矿制约[J].大地构造与成矿学,36(1):111-117.
- 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.
- 王华云.1996.黔东南铅锌矿的成矿规律及成矿模式[J].贵州地质,13(1):7-23.
- 王育民,朱家鳌,余琼华.1988.湖南铅锌矿地质[M].北京:地质出版社.
- 杨绍祥,劳可通.2007.湘西北铅锌矿床碳氢氧同位素特征及成矿环境分析[J].矿床地质,26(3):330-340.
- 杨绍祥,劳可通.2007.湘西北铅锌矿床的地质特征及找矿标志[J].地质通报,26(7):899-908.
- 钟九思,毛昌明.2007.湘西北密西西比河谷型铅锌矿床特征及成矿机制探讨[J].国土资源导报,4(6):52-56.
- 周云,段其发,曹亮,等.2014.湘西-鄂西地区铅锌矿的大范围低温流体成矿作用研究[J].高校地质学报,20(2):198-212.
- 周云,段其发,唐菊兴,等.2014.湘西地区铅锌矿的大范围低温流体成矿作用-流体包裹体研究[J].地质与勘探,50(3):515-532.

Geological Characteristics and Genesis of Lead-Zinc Deposits by Lower Cambrian in Western Hunan-Northeastern Guizhou Area

ZHAO Shuang¹, PAN Wen¹, YANG Sheng-tang¹, YIN Ting-long¹, JIANG Tian-rui¹,
TIAN Jing-jiang¹, CHEN Ling², QIN Zhi-gui¹

(1. No. 103 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Tongren 554300, Guizhou, China; 2. Eastern Guizhou Geology and Mineral Resources Testing Center, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Tongren 554300, Guizhou, China)

[Abstract] The lead-zinc deposits by Lower Cambrian in western Hunan-northeastern Guizhou area are hosted in algal reef limestone in the platform margin reef flat facies. In fact, it belongs to the fault structure ore-control, and has the typical characteristics of Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. The metallogenic epoch may be from the Late Silurian to the Early Carboniferous. Firstly, Pb Zn are leached from the upper crust by middle/low temperature, high salinity fluid, secondly, this fluid migrates to the surrounding rocks consisting of carbonate rocks along the fault path, then, the sulphate that are from the surrounding rocks through water-rock reaction or exchange between it and the metallogenic fluid are transformed into the reduced sulfur by Thermochemical Sulfate Reduction (TSR), lastly, these deposits were formed by combining the reduced sulfur and Pb Zn metal complex. The fault structure affected by the regional extrusion stress were played a crucial role throughout this metallogenic process.

[Key words] Western Hunan-northeastern Guizhou area; Lower Cambrian; Lead-zinc deposits; Reef-bank facies; Structure ore-control; Metallogenic process