

文章编号: 1000-4734(2017)06-0675-09

贵州凯里—都匀地区铅锌矿化规律与找矿靶区

金少荣¹, 叶霖^{2*}, 杨德智¹, 胡宇思^{2,3}, 韦晨^{2,3}, 代德荣¹, 李珍立^{2,3}

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 地球物理地球化学勘查院, 贵州 贵阳 550018; 2. 中国科学院 地球化学研究所
矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 湘西—黔东铅锌成矿带是我国重要铅锌资源基地之一, 凯里—都匀地区是该成矿带贵州境内中铅锌分布最为集中区域, 其铅锌矿床(点)成群成带分布。由于相关地质地球化学研究程度较低、矿床成因认识不清等因素造成该区铅锌地质勘探尚未有较大突破。本文总结了该区铅锌矿化特征、铅锌资源潜力和控矿因素等, 认为今后地质勘探提供思路和依据。研究表明, 凯里—都匀地区铅锌矿床与典型 MVT 铅锌矿床地质地球化学特征基本一致, 地层岩性(下寒武统清虚洞组白云岩)和构造(背斜和 NE 向断层)是最重要控矿因素, Pb、Zn 地球化学异常是重要找矿标志之一, 牛角塘地区、独牛背斜核部和龙井街—柏松地区是该区有利铅锌找矿靶区。

关键词: 铅锌矿床; 成矿作用; 矿化规律; 找矿靶区; 凯里—都匀地区

中图分类号: P612; P618.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2018.38.243

作者简介: 金少荣, 男, 1964 年生, 高级工程师, 从事矿产勘查与管理工作. E-mail: 253694302@qq.com

A Discussion on the Pb-Zn Mineralization Regularity and Ore Prospecting Targets in the Kaili—Duyun Area, Guizhou Province, China

JIN Shao-rong¹, YE Lin^{2*}, YANG De-zhi¹, HU Yu-si^{2,3}, WEI Chen^{2,3}, DAI De-rong¹, LI Zhen-li^{2,3}

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 550018, China; 2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Xiangxi-Qiandong Pb-Zn metallogenic belt is an important Pb-Zn resource base in China. The Kaili-Duyun area in Guizhou Province is the most concentrated area of the distribution of Pb-Zn deposits in the Guizhou part of this metallogenic belt. The Pb-Zn deposits (mineral occurrences) are distributed in groups and in zones. No major breakthrough has been made for the Pb-Zn geological exploration in this area due to the low level of relevant geological and geochemical researches and the unclear understanding of the genesis of the deposit. In this paper, we have summarized the characteristics of Pb-Zn mineralization, Pb-Zn resource potential and ore-controlling factors in this area, to provide ideas and basis for future geological exploration. The study shows that geological and geochemical characteristics of Pb-Zn deposits in the Kaili-Duyun area are basically consistent with those of typical MVT deposits. The stratigraphic lithology (the Lower Cambrian Qingxudong Formation dolomite) and the structure (anticline and NE-trending faults) are the most important ore-controlling factors. Pb and Zn geochemical anomalies are important prospecting indicators. The Niujiatong, Duniu anticline, and Longjingjie-Baisong areas are favorable Pb-Zn prospecting targets in the Kaili-Duyun area.

Keywords: Pb-Zn deposit; mineralization; mineralization regularity; prospecting target; the Kaili—Duyun area

收稿日期: 2018-08-07

基金项目: 贵州省科学技术基金重点项目(黔科合基础[2017]1421); 国家重点研发计划(2017YFC0602502); 国家重点基础研究计划项目(2014CB440900; 2014CB440905); 贵州省地矿局科研项目(2016[19])

* 通讯作者, E-mail: yeling@vip.gyg.ac.cn

铅锌长期以来是我国的优势矿种,但经过近年来的大量开采,我国铅锌资源保有储量迅速下降,已被列为紧缺资源^[1-3],对外依存度已高达 25%以上^[1],寻找大矿和富矿是我国铅锌地质勘探的迫切任务。全球大部分重要铅锌矿床多属于以沉积岩为赋矿围岩的铅锌矿床^[4-5],MVT 铅锌矿床是世界上铅锌矿床最重要矿床类型之一^[5],其矿床数和储量分别占超大型铅锌矿床数和储量的 24%和 23%^[6]。目前,国内 MVT 铅锌矿床研究主要集中在川滇黔铅锌矿集区^[7-8],但该矿集区在矿石品位高等诸多地质特征方面与典型 MVT 矿床存在较大差异^[9],而黔东铅锌成矿带内铅锌矿床却与典型 MVT 矿床具有一致的地质和地球化学特征^[10],是我国研究 MVT 铅锌矿床的理想区域。该成矿带位于扬子地台东南缘,是湘西—黔东铅锌成矿带的重要组成部分^[11-15]。湘西—黔东铅锌成矿带已发现铅锌矿床(点)数十个,最南可延伸至都匀牛角塘矿床^[10],其铅锌矿床(点)具有成带和成群(范围达数万 km²)产出特点^[16],长期受到广大地质工作者关注^[14-15]。特别是近年来,在该成矿带的湘西地区地质勘探取得了重大突破(如花垣大脑坡等),新获得铅锌资源储量已超过 1×10¹⁰ kg,远景储量超过 2×10¹⁰ kg,有望成为世界级铅锌资源基地^[17]。凯里—都匀地区(图 1a)是该成矿带贵州境内铅锌分布最为集中区域,铅锌矿床(点)广布(图 1b),但目前铅锌地质勘探尚未有较大突破,究其原因,相关地质地球化学研究程度较低,矿床成因认识不清可能是其主要制约因素之一。本文拟通过总结该区铅锌资源潜力,探讨铅锌矿化特征,为今后地质勘探提供思路和依据。

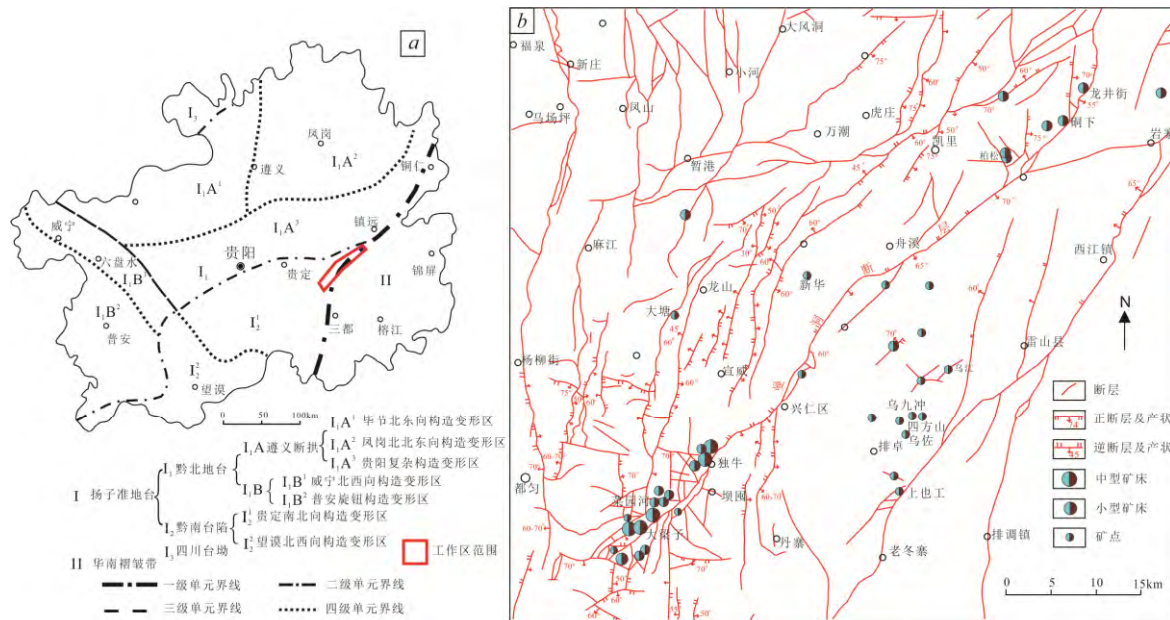


图 1 凯里—都匀地区大地构造略图(a)与铅锌矿床(点)分布图(b)(据文献[12]修改)

Fig. 1. Sketch maps for tectonic setting of Guizhou Province (a) and distribution of Pb-Zn deposits (mineral occurrences) in the Kaili-Duyun area, Guizhou Province, China (b).

1 区域地质特征

凯里—都匀地区位于扬子陆块之黔南台陷贵定 SN 向构造变形区内,其东南部属于华夏褶皱带^[1](图 1a)。研究区出露的地层由老至新为青白口系、南华系、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系和第四系。总体上,研究区东部地层较老,西部地层较新,北部地层较老,南部地层较新。寒武系、奥陶系和泥盆系是区内锌、Au、Sb、Hg、Pb-Zn 等矿产的主要赋矿地层。构造小区上,研究区所在的凯里—王司一带属于过渡地带,以舟溪—丹寨一线为界,东侧属台江-丹寨小区,西侧为江口—都匀小区。沉积特征上,早寒武世早期,本区发育一套深水炭硅质沉积,随后至晚寒武世则与扬子区相似,早寒武世中期为碎屑沉积,早寒武世晚期至晚寒武世为台地碳酸盐沉积,其中清虚洞组是区内 Pb-Zn 矿的主要赋矿层位之一。由于凯里—都匀地区位于扬子与华夏陆块交界部位,构造以典型的薄皮构造为特征,表现最为明显的是燕山期形成的近 SN 或 NNE 向褶皱-冲断

构造。此外一些古老断裂构造的多次活化, 其往往与内生金属矿产有着密切的联系, 这些断裂以 NE 和 NW 向为主, EW 向次之。区内岩浆活动十分微弱, 岩浆岩极不发育, 仅见偏碱性超基性岩(钾镁煌斑岩)和玄武岩小面积零星分布。

研究区沉积矿产很发育, 主要有煤、磷块岩(含 U、V)、赤铁矿、碳酸盐岩、粘土等矿产, 其分布受相应地层控制。金属矿产则以中-低温成矿元素组合为特点, 包括 Au、Sb、Hg、Pb-Zn 等, 它们的矿床(点)众多, 成群成带分布。区内沿蔓洞断层带 NW 盘, 出露地层以寒武系为主, Pb-Zn 矿床主要赋存于下寒武统清虚洞组含藻白云岩中, 目前已发现 Pb-Zn 矿床若干, 包括中型 5 个、小型 20 个及矿点若干(图 1b), 其中牛角塘 Pb-Zn 矿床规模最大, 最具代表性。此外, 该区 SE 侧的雷山—丹寨地区, 出露地层以晚元古宇为主, 沿多具张性走滑性质断层产出受断裂控制的热液充填-交代型多金属矿床(点), 分布小型矿床 1 个, 矿点若干, 其代表如脚高坡等矿床。

2 区域地球物理与地球化学特征

研究区位于大兴安岭—太行山—武陵山—苗岭东段重力梯级带南段西侧和滥坝—贵阳—三穗重力低异常带南侧, 布格异常值全为负值, 总体具东高西低的趋势。异常形态复杂, 有椭圆状、舌状、线状等; 展布方向多样, NE、NNE、NW 走向均见。异常按其形态、样式及性质分带明显, 具北西向相间分布的特征, 本区由麻江隆昌重力低异常、雷公山重力低异常等呈雁行排列, 与邻区从江宰便、南加等重力低异常构成 1 个北西向的重力低异常带, 推测由一系列酸性侵入体引起。区域东部晚元古宇浅变质基底出露区磁场以正缓场为特征, 雷山一带具正磁异常, 范围与根据重力异常推断的酸性侵入体一致。区域西部以沉积盖层为主的地区反映为负缓场。据相关资料, 经平面化极处理后的 8 T 等值线图反映区内为-8 T 磁异常, 偶见小面积+8 T 磁异常, 磁异常轴向总体呈 EW 向, 表明区内磁性块体主要为东西向分布。

研究区位于黔南台陷地球化学区带内, 水系沉积物中的元素以 Cd、Hg、Th 和 Bi 地球化学的高背景为主, 其次 Ag、As、B、Mo、Nb、Pb、Sb、U 和 Zr 以及 SiO₂ 和 CaO 等均高于全省地球化学背景。例如, 研究区水系沉积物 w(Pb)背景值为 45.8×10⁻⁶, 是全国水系沉积物 w(Pb)背景值(29.2×10⁻⁶)的 1.6 倍, 是全省水系沉积物 w(Pb)背景值(39.0×10⁻⁶)的 1.1 倍, 变化系数为(C_V)=1.12。再如, 研究区水系沉积物的 w(Zn)背景值为 115.9×10⁻⁶, 是全国水系沉积物 w(Zn)背景值(75.7×10⁻⁶)的 1.5 倍, 是全省水系沉积物 w(Zn)背景值(106.8×10⁻⁶)的 1.1 倍, 变化系数为(C_V)=1.87。这些元素的富集或组合在空间上, 一般背斜+逆冲断层带发育 Pb、Zn、Cd、Ag、Hg、Sb、As 和 Au 等亲硫元素地球化学高背景或异常带; 向斜区则发育 Cu、Cr、Ni、Co、Nb、Ni、P、Ti 和 V 等亲(石)基性、相容性元素高背景或异常带。

化探研究表明, 研究区分布有较好的 Pb 和 Zn 元素化探组合异常区(带), 化探异常与已知 Pb-Zn 矿床套合较好, 且 Pb-Zn 异常分布面积大, 与 NE 向的蔓洞断裂一致, 显示研究区内具有较好的 Pb-Zn 找矿潜力。其中, 1) Pb 异常特征: 以 w(Pb)=52×10⁻⁶为异常下限, 圈出 2 个 Pb 的异常区, 主要分布在王司—坝固—兴仁和鸭塘—凯里—挂丁一带(图 2a), 具有 3 级 Pb 浓度分带, 在异常浓集中心已发育有 Pb-Zn 矿床(点)分布。异常区内出露的地层主要为寒武系清虚洞组、高台组、石冷水组和娄山关组, 其岩性均以白云岩为主; 2) Zn 元素异常特征: 以 w(Zn)=128×10⁻⁶为异常下限, 圈出 3 个 Zn 的异常区, 也主要分布在王司—坝固—兴仁和鸭塘—凯里—挂丁一带(图 2b), 与 Pb 元素异常的套合较好, 具 3 级 Zn 浓度分带特征, 在异常浓集中心常见 Pb-Zn 矿床(点)分布。寒武系清虚洞组、高台组、石冷水组和娄山关组是 Zn 异常区主要出露地层。

3 矿床地质地球化学特征

都匀牛角塘 Pb-Zn 矿床是凯里—都匀地区地区规模最大矿床, 其研究程度相对较高, 故本文以该矿床为例, 简要介绍这类矿床地质地球化学特征。

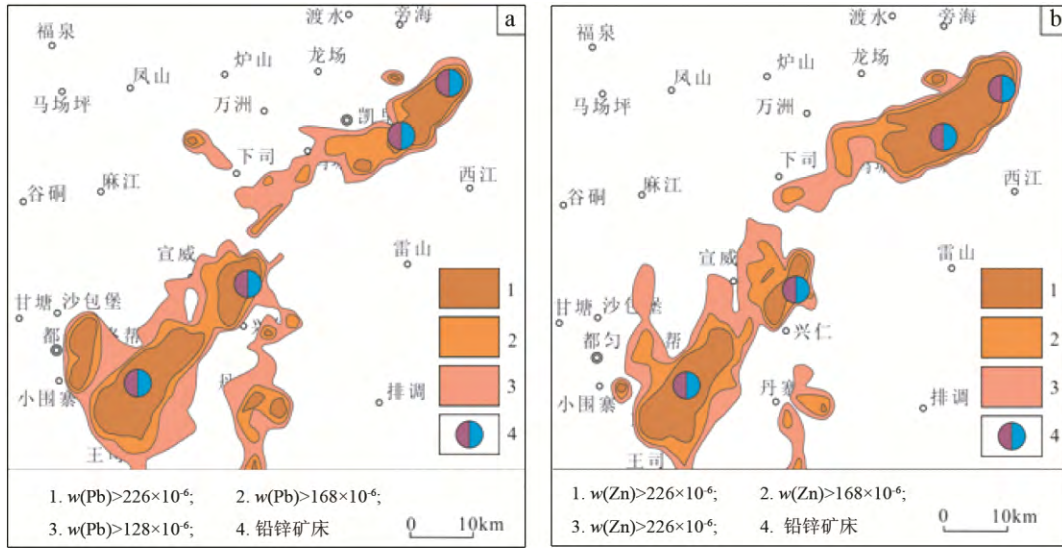


图 2 凯里—都匀地区 Pb、Zn 化探异常 (据文献[12]修改)

Fig. 2. Pb-Zn geochemical anomalies in the Kaili-Duyun area, Guizhou Province, China.

牛角塘矿床位于凯里—都匀地区南端(图 1b),大地构造背景属于扬子陆块西南缘贵定南北向构造变形带,王司复背斜南部转折端。矿区出露地层以上震旦统至中寒武统为主,其中,乌训组岩性主要为碳酸盐岩和细碎屑岩,夹少量碳质页岩、泥岩及硅质岩等;虚洞组含藻白云岩是本区 Pb-Zn 矿化最重要赋矿层位,可分为 2 段:第 1 段(E_{1q}^1)为灰、深灰色薄层条带状灰岩、球粒灰岩、白云质灰岩,12.6~40 m 厚;第 2 段(E_{1q}^2)为区内主要含矿层位,243~501 m 厚,在早楼断层下盘可分为五层(E_{1q}^{2-1} 、 E_{1q}^{2-2} 、 E_{1q}^{2-3} 、 E_{1q}^{2-4} 和 E_{1q}^{2-5}),其中, E_{1q}^{2-1} 为灰、暗灰色薄至中厚层粉晶白云岩、粉屑白云岩和灰色薄层砾屑白云岩,42.55~86.32 m 厚, E_{1q}^{2-2} 为浅灰、灰色薄至中厚层含炭泥质细晶白云岩夹中厚层粉至细晶白云岩,62.2~106 m 厚, E_{1q}^{2-3} 为浅灰、灰色厚层细晶白云岩、鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩,该层是本区铅锌主要含矿岩性段,称为 I 含矿层,145~168 m 厚, E_{1q}^{2-4} 为深灰色薄至中厚层含炭泥质白云岩,在马坡矿段局部见工业矿体,是早楼断层下盘 I 含矿段矿体主要对比标志层,7.25~20.2 m 厚, E_{1q}^{2-5} 为灰、浅灰中厚至厚层颗粒白云岩,该层为区内主要含矿岩性段,称为 II 含矿层,69.0~130 m 厚。高台组 (E_{2g}),为深灰色中至薄层纹状粉砂质泥质白云岩、深灰色薄层纹状白云质泥质粉砂岩,局部底部为深灰色粘土页岩,为区内 Pb-Zn 矿体的主要“盖层”,8~20 m 厚;石冷水组 (E_{2s}),368~506 m 厚,可分为两段,第一段 (E_{2s}^1) 为灰色中厚层颗粒白云岩和深灰色薄至中厚层颗粒白云岩与瘤状白云岩呈韵律互层,该段顶部局部见铅锌矿化,称为 III 含矿层,80~122 m 厚,而第二段 (E_{2s}^2) 为灰色薄至中厚层颗粒白云岩,288~384 m 厚。

牛角塘矿区主要发育 NE 和 NW 及近 SN 和 EW 向断裂,其中以 NE 向断裂最发育。例如,NE 向蔓洞大断裂和早楼断裂贯穿整个矿区(图 3a)。蔓洞断裂属于区域性大断裂,由一系列近平行断层组成。早楼断裂带长约 50 km,走向 NE40°~50°,倾向 NW,倾角 50°~75°,其南端呈帚状分枝尖灭,Pb-Zn 矿化分布于这些帚状断层两侧,赋存于藻类白云岩中。有研究认为早楼断裂可能属于同生断层,形成后又有多次活化,为成矿热液活动提供了良好的通道^[15]。而矿区 NW 向断层(图 3a),将矿床切割为几个矿段,很可能属于成矿后期断裂,对成矿本身影响不大。我们的研究表明,矿区牛角寨、大亮及牛角塘等矿段位于 F_2 与 F_3 之间夹块内,横向上看,NE 向断层组成 1 组顺时针、逆时针斜走滑断层,矿段表现为明显的对冲现象,主矿体位于 F_2 与 F_3 之间,恰好落在对冲沉陷断决内,形成“地堑”式组合特点。纵向上看,发育 1 组 SN 向正断层,形成以王家山为中心,向两侧依次断陷的“地垒”式组合特点(图 4)。无论构造组合形式怎样,都受控于 F_2 ,NE 向构造交于菜园河,形成牛角塘帚状构造,其收敛部位紧靠牛角塘隆起中心,与成矿关系密切。

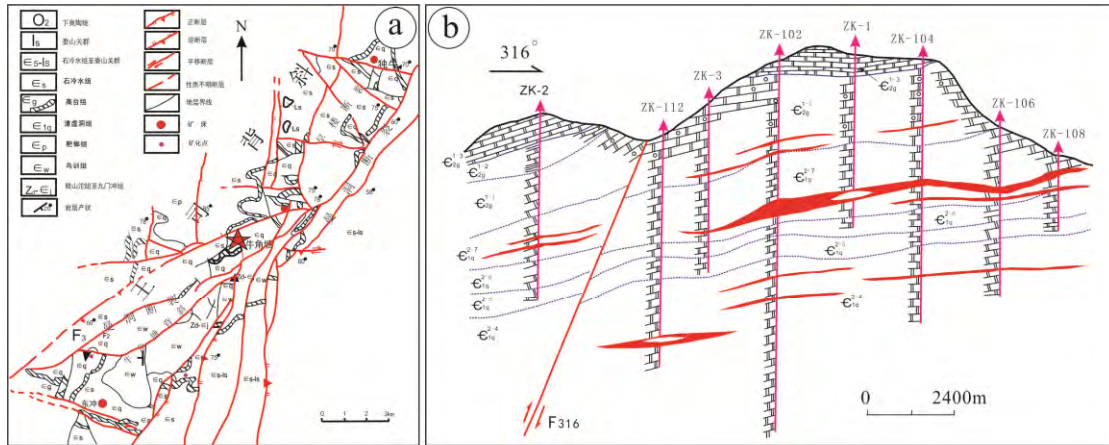


图 3 都匀牛角塘铅锌矿床矿区地质图 (a) 及矿床剖面图 (b) (据文献[15]修改)
 Fig. 3. Geological map (a) and profile (b) for the Niujiatong Pb-Zn Deposit in Duyun City.

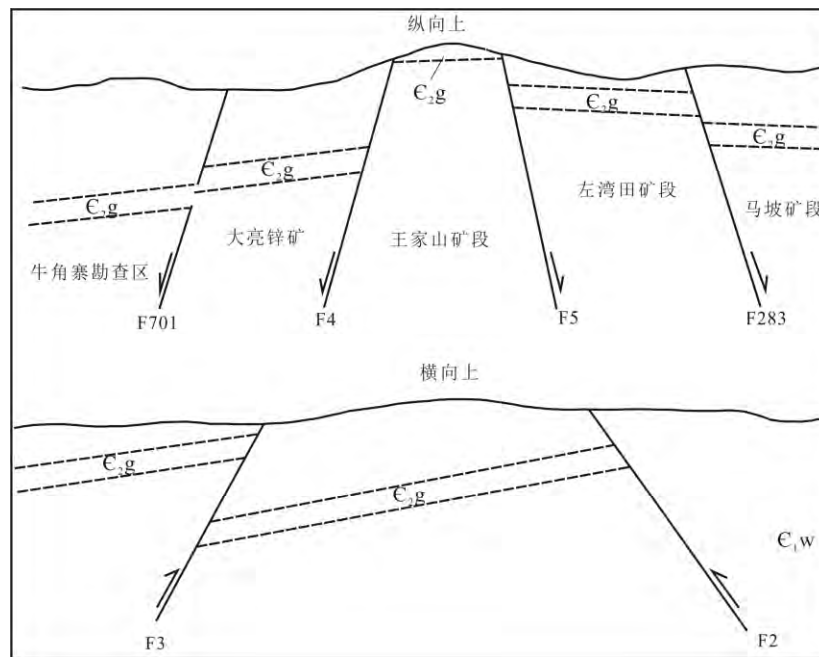


图 4 牛角塘铅锌矿区构造组合特征示意图 (据文献[15]修改)
 Fig. 4. Schematic diagram for structural correlation characteristics of the Niujiatong Pb-Zn deposit.

牛角塘铅锌矿床是以 Zn、Pb、Cd 为主的 Pb-Zn 多金属矿床^[10, 18], Zn 品位一般为 5.85%~24.48%, 最高达 48.01%, 平均为 19.80%。目前矿区已发现 90 余个 Pb-Zn 矿体, 探明 Zn 储量为 3.5×10^8 kg 以上。这些 Pb-Zn 矿体主要产于下寒武统清虚洞组第 2、3 和 7 岩性段和石冷水组第 2 岩性段的碳酸盐岩中。这些碳酸盐岩均为中厚层中细粒白云岩, 且含有大量藻类和其它生物化石。盖层岩石往往为 1 层厚度不等的黑色页岩或砂泥质白云岩, 对 Pb-Zn 矿化流体可能起到屏蔽或地球化学障的作用。Pb-Zn 矿体多呈似层状、透镜状产出 (图 3), 中间厚, 四边薄, 中部常发育块状矿石, 而边部以浸染状矿石为主, 矿体产状与围岩产状基本一致, 接触关系不明显, 具有过渡特征。值得重视的是, 锌矿石中 Cd 含量异常高, $w(\text{Cd})$ 一般为 $(2284 \sim 9850) \times 10^{-6}$, 最高可达 13400×10^{-6} , 平均为 5366×10^{-6} ^[19-20], 比地壳克拉克值 (0.2×10^{-6})^[21] 高 5~6 个数量级, 比工业品位高出数十至数百倍, 且其储量已达大型独立 Cd 矿床规模 (初步探明 Cd 储量为 5299.14 t)。除 Zn 和 Cd 外, Ge 也达到工业要求, $w(\text{Ge})$ 平均为 25.21×10^{-6} , 并伴生少量 Ag 和 Ga。我们的研究表明, 矿床中 Cd 主要呈类质同象形式赋存于闪锌矿中^[10, 22], 部分 Cd 以硫镉矿等独立矿物的形式, 赋存于矿床的氧化带中, 少量 Cd 呈吸附态存在于其他矿物的表面^[10, 19-20, 23-27]。

牛角塘矿床的原生硫化物矿石的金属矿物主要由闪锌矿和黄铁矿组成(图5),方铅矿、白铁矿和菱锌矿次之,少量异极矿、褐铁矿、毒砂、辉锑矿和雄黄等,偶见自然银、硫镉矿和其它待命名的镉独立矿物。脉石矿物以白云石为主,少量方解石、石英和粘土矿物等。不规则粒状是闪锌矿和黄铁矿的主要晶体形状,草莓状和结核状也较发育。闪锌矿的颜色很浅,主要为浅色,有时接近白色,表现为浅灰色、淡红色、浅灰绿色、浅黄色和淡白色等。各种颜色闪锌矿之间并无明显界限,通常为过渡关系。矿区围岩蚀变较弱,主要为白云石化,其次为黄铁矿化、方解石化和弱硅化等。

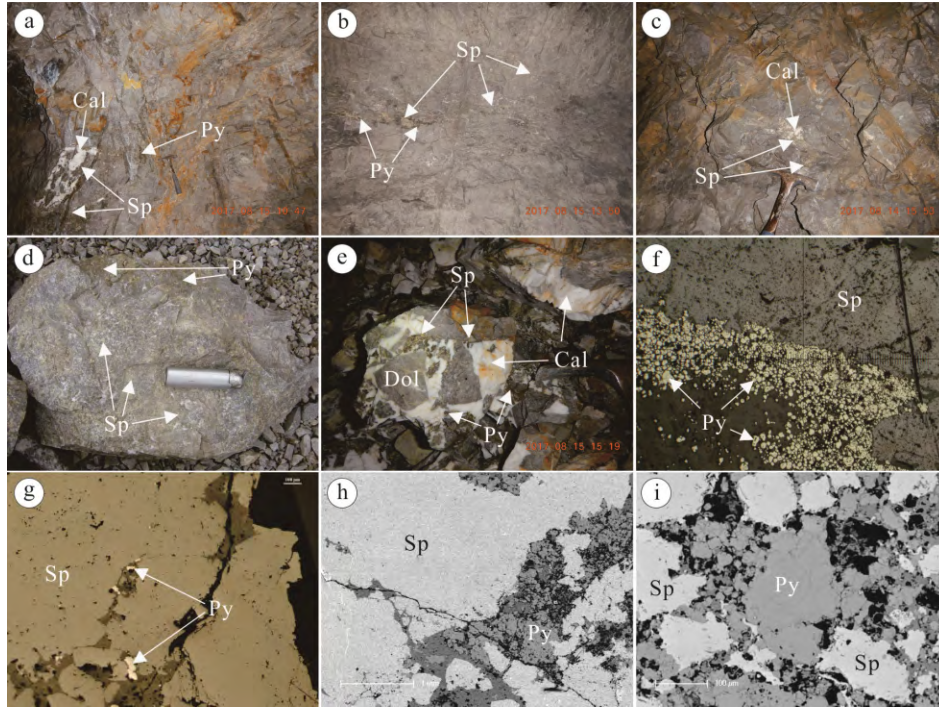


图5 都匀牛角塘铅锌矿床矿体产出特征与显微照片

Fig. 5. Photos and micrographs showing characteristics for orebodies and ores of the Niujiatong Pb-Zn deposit in Duyun City.

以往的矿床地球化学研究表明,牛角塘矿床具有以下地球化学特征:1)成矿温度在 $101\sim 172\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,成矿流体盐度在 $11.0\%\sim 15.9\%$ NaCl之间(平均为 13.6% NaCl)^[28],属于低温中高盐度流体,与湘西花垣李梅矿床(温度: $99\sim 192\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度平均为 26.0% NaCl)^[29]和凤凰矿田内铅锌矿床成矿温度为 $109\sim 173\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[30]成矿流体性质相似;2)矿床中硫化物富集重硫同位素($22\%\sim 30\%$)^[31],接近前寒武纪—奥陶纪古海水硫同位素值,相似于区域内其他铅锌矿床,如花垣鱼塘李梅矿床($24\%\sim 30\%$)^[29]、凤凰矿田(23%)^[32]、龙山矿田($11\%\sim 15\%$)^[16]、叶巴碛($18.23\%\sim 31.85\%$)等;3)铅锌矿化与古油藏关系密切,都匀—凯里地区铅锌矿床(点)的分布与麻江古油藏重叠^[33],牛角塘矿区赋矿地层中有大量干沥青产出^[10,34],凯里松柏矿床也具相似特征^[35],其区域构造史、油气演化史和成矿史是大致同步的^[28]。可见,本区铅锌矿床与区域侵入岩并无关系,且与典型MVT铅锌矿床地质地球化学特征^[5,36]极其相似,对这类矿床成因观点已从早期“沉积-叠加改造”^[11-12]逐渐转变为“MVT”^[30,37-38],正是由于这种认识上的转变,极大地促进了湘西地区的铅锌矿地质勘探进程,并取得了非常显著的找矿效果^[17,39-41]。

4 资源潜力及找矿勘探分析

4.1 资源潜力

凯里—都匀地区Pb-Zn矿床(点)集中分布在万山—三都—荔波断裂带旁侧,目前已发现不同规模的Pb-Zn矿床20余个及矿点若干(图1b),这些矿床(点)具有成群或成带分布等特点,代表性的Pb-Zn

矿床有牛角塘和大梁子等。根据牛角塘 Pb-Zn 矿床探明 Zn 储量和近期周边开采新增储量统计, 其 Zn 金属量已达到大型规模。此外, 该区东南侧的雷山—丹寨地区, 出露地层以晚元古宇为主, 沿具张性走滑性质断层产出受断裂控制的热液充填交代型铅锌多金属矿床(点)若干, 以脚高坡等为代表。根据《贵州省铅锌银矿资源潜力评价报告》, 研究区内预测资源量 Zn 为 2.4034×10^9 kg、Pb 为 4.58×10^7 kg。其中, 重点研究区预测 Zn 资源量 2.2477×10^9 kg, 一般研究区预测资源量 Zn 为 1.557×10^8 kg、Pb 4.58×10^7 kg。此外, 沿曼洞断层旁侧的牛角寨、独牛—羊列和柏松一带, 成矿条件极为有利, 资源潜力大, 找矿前景好, 为今后的重点找矿远景区。截止 2015 年 7 月, 凯里-都匀地区内探明 Zn 金属总量 1595620 吨, 已消耗 2.25483×10^8 kg, 占 14.1%, 保有量 1.370138×10^9 kg, 占 85.9%, 保有量中, 111b、122b、332、333 和 334 分别为 1.030×10^6 kg、 6.5928×10^7 kg、 1.30762×10^8 kg、 6.06943×10^8 kg 和 5.65475×10^8 kg。此外, 共生 Pb 金属总量 9.4759×10^7 kg; 伴生 Cd 金属总量 1.2067×10^7 kg, 已消耗 111b 2.982×10^6 kg, 占总的 24.7%, 保有量 9.084×10^6 kg, 占总的 75.3%; 伴生 Ga 和 Ag 金属总量分别为 1.5741×10^5 kg (334) 和 6.4×10^2 kg。可见, 凯里—都匀地区锌资源潜力巨大, 可能成为贵州省重要 Zn 资源基地。

4.2 控矿因素

区内 Pb-Zn 矿床主要产于古隆起拗陷带内, 其赋矿岩性为浅海相碳酸盐岩, 特别是富有机质、泥质的生物泥晶灰岩和白云岩。Pb-Zn 矿体主要呈似层状、透镜状产出, 数量众多, 多层产出, 上下重叠, 其产状常与地层的产状一致, 少数矿体呈脉状和囊状产出, 截切赋矿地层, 沿走向、倾向上有分支复合、尖灭再现的现象。以牛角塘 Pb-Zn 矿床为代表的研究区矿床, 在成因类型属于 MVT, 矿化以 Zn 为主, 共(伴)生 Pb、Cd、Ga 等, 主要分布于施洞口断层、早楼断层北西盘旁侧寒武系清虚洞组第二段中上部, Pb-Zn 矿体产出往往与区内大型变形构造有关, 受区域性褶皱和断裂及层间滑动控制明显。

现有地质勘探资料表明, 研究区内的铅锌矿带、矿田、矿床及矿体的分布, 是受不同级别构造严格控制, 即构造分级控矿特征明显。就区内 Pb-Zn 矿床的控矿因素而言, 成矿物质/流体源区、热液活动、有利地层和岩性等固然是必不可少的基本条件, 然而这些条件必须借助包括断裂、破碎带、褶皱、层间剥离带、节理等在内的各种构造, 作为成矿热液的流动通道或聚集场所, 才能使低温成矿作用易于进行, 并形成具有经济价值的矿床。因此, 在控矿因素中, 构造条件尤为重要, 构造对研究区 Pb-Zn 矿化的控制主要表现在下列几方面。

1) 褶皱+断裂带或断裂带控矿: 虽然区内发育较多褶断带和断裂带, 它们的生成时期和行迹方向不同, 规模大小不等, 复杂程度不一, 但大都对 Pb-Zn 矿的生成和分布起着重要的控制作用, 已知的 Pb-Zn 矿大都分布在这些褶断带和断裂带之中。这些控矿断褶断带和断裂带均呈 NNE 向带状展布, 它们由褶皱、走向逆断层、正断层和平移断层等组成。这些褶断带和断裂带均是区域内应力作用相对集中地带, 挤压现象比较明显, 褶皱和断裂很发育, 局部地段的岩石破碎程度很高, 局部的岩层倾角陡直, 甚至倒转。同时, 由于部分断层多期活化, 次级构造活动明显, 及后期构造叠加和改造等因素的影响, 其局部构造行迹极为复杂, 以至于难于恢复其本来面貌。这些褶断带和断裂带中规模较大、延伸较长及切割较深的主干断裂, 其局部地段(特别是碳酸盐岩分布地段)又密布各种次级断裂(如裂隙和节理等), 从而形成一些以主干断裂为主体, 次级构造彼此连通的构造复杂区。这些构造复杂地区既能为低温成矿流体(热卤水)提供渗流空间, 也能为热液提供运移通道和交代、充填场所。

2) 褶皱构造体系控矿: 主要是指控制矿床或矿体的褶皱构造体系^[42-45]。区内褶皱控矿现象比较普遍, 特别是岩层倾角偏缓地区尤多。Pb-Zn 矿产出形式主要呈似层状、透镜状, 垂直方向上常垂直排列, 其分布主要受赋矿地层中层间破碎带或剥离带的控制。而矿体的膨大、富集部位则多出现在背斜核部及其倾伏端、褶皱两翼部岩层倾角变换及层间剥离带或破碎带与穿层断裂交汇处。这类矿体常具有多层产出特征, 空间叠置, 矿体的延伸方向基本与层间剥离带或破碎带分布方向相一致。

3) 节理裂隙控矿: 主要是针对矿体或矿化体内部的控矿节理、裂隙而言, 大都是控制矿石的低级构造, 规模较小, 多呈脉状或网脉状产出。这类构造即能为成矿流体提供渗流空间, 往往又是矿石最后的沉淀场所, 其在 MVT 矿床中普遍发育, 一般与构造的复杂程度成正比。断裂带、层间剥离带或破碎带中节理裂隙控矿现象普遍, 节理、裂发育地段, 往往是矿体加厚、品位变富地段。

4.3 找矿靶区

依据区内 Pb-Zn 矿控矿地质条件, 结合已知矿床、点及矿体分布情况, 遵循最小面积最大含矿率的原则, 在区内地、物、化各类成矿信息集中显示的部位圈定找矿靶区, 并结合已有探矿工程验证结果, 对找矿靶区进行分类, 在此基础上对找矿靶区进行圈定划分, 共圈定了 7 个找矿靶区, 其中, A 类靶区 1 个, B 类靶区 2 个, C 类靶区 4 个。

1) 牛角塘找矿靶区 (A 类): 位于区域王司背斜核部, 面积 102.55 km^2 , 出露寒武系杷榔组至娄山关组, 早楼断层及其分支断层构成“帚状”断层系分布全区。该区位于区域 Pb、Zn 元素化探异常浓集中心部位, 以往工作中发现中型 Zn 矿床 2 处, 小型矿床及矿点若干, 本次工作发现中型矿床 1 处、小型矿床 (点) 1 处, 成矿条件极为有利, 区内预测 Zn 资源量 $7.212 \times 10^8 \text{ kg}$, 故划分为 A 类重点找矿靶区。目前该区采矿权、探矿权密布, 宜在矿业权深部及各矿业权之间空白地段开展探矿工作, 以扩大矿床规模, 延长矿山服务年限。

2) 独牛背斜核部找矿靶区 (B 类): 位于区域王司背斜的次级褶皱独牛背斜 (即区域宣威背斜) 核部, 早楼断层北东段旁侧, 面积 15.08 km^2 , 背斜核部出露地层为石冷水组, 两翼出露娄山关组地层。本区位于区域 Pb、Zn 元素化探异常浓集中心部位, 相邻的黔兴 Pb-Zn 矿施工大量钻孔见矿, 矿床规模已达中型, 且区内羊列一带施工 2 个钻探工程见矿, 其成矿条件有利, 区内预测锌资源量 $9.62 \times 10^8 \text{ kg}$, 划分为 B 类重点找矿靶区, 推测矿体埋深 $800 \sim 1200 \text{ m}$ 。

3) 龙井街—柏松找矿靶区 (B 类): 位于龙井街断层 (即区域蔓洞断层) 北西盘, 柏松背斜近核部, 区内出露寒武系清虚洞组、高台组、石冷水组。其中, 含矿层位为石冷水组和清虚洞组, 面积 49.41 km^2 。区内有已知有龙井街、格冲、嗣下、叶巴洞、柏松等 Pb-Zn 矿床 (点) 分布, 已设矿权内施工多个钻孔见矿, 均为氧化矿, 具备较好的成矿远景, 区内预测 Zn 资源量 $1.557 \times 10^8 \text{ kg}$ 、Pb 资源量 $4.58 \times 10^7 \text{ kg}$, 故划分为 B 类重点找矿靶区。

4) 独牛背斜西翼找矿靶区 (C 类): 位于早楼断层中段北西侧, 区域王司背斜的次级褶皱独牛背斜 (即区域宣威背斜) 西翼, 区内出露寒武系杷榔组至娄山关组地层, 面积 21.51 km^2 。该区与党朵—老虎冲锌矿和种蓄场—摆茶 Zn 矿、菜园河 Zn 矿和牛角塘 Zn 矿床马坡矿段、左湾田矿段相邻, 相邻矿权内有施工钻孔见矿, 成矿条件较为有利, 故划分为 C 类找矿靶区。推测矿体埋深 $500 \sim 750 \text{ m}$ 。

5) 独牛背斜东翼找矿靶区 (C 类): 该区位于区域王司背斜的次级褶皱—独牛背斜 (即区域宣威背斜) 东翼, 早楼断层斜贯全区, 区内出露石冷水组和娄山关组地层, 面积 34.06 km^2 。与党朵—老虎冲、枫槽坝、水牛石、范家河、狮子洞、明英和注马等 Pb-Zn 矿相邻, 相邻矿权内均有施工钻孔见矿, 成矿条件较为有利, 故划分为 C 类找矿靶区, 推测矿体埋深 $100 \sim 1100 \text{ m}$ 。

6) 摆泥找矿靶区 (C 类): 位于区域蔓洞断层南东盘, 区内出露寒武系高台组、娄山关组, 面积 19.14 km^2 。区内有已知摆泥 Pb-Zn 矿点分布, 含矿层位为娄山关组, 具备一定成矿远景, 故划分为 C 类找矿靶区。

7) 羊岗拖铅找矿靶区 (C 类): 位于格冲断层北西侧, 距龙井街断层约 1 km , 与台江县龙井街 Pb-Zn 矿毗邻, 区内主要出露石冷水组和娄山关组地层, 含矿层位为石冷水组和清虚洞组, 面积 34.38 km^2 , 推测清虚洞组含矿层埋深 $800 \sim 1000 \text{ m}$ 。

5 结 论

- 1) 本区铅锌矿床成因类型与 MVT Pb-Zn 矿床基本一致。
- 2) 地层岩性 (下寒武统清虚洞组白云岩)、构造 (背斜和 NE 向断层) 是最主要控矿因素。
- 3) Pb、Zn 地球化学异常与铅锌矿化套合较好, 应是重要找矿标志之一。
- 4) 牛角塘地区、独牛背斜核部和龙井街-柏松地区是有利 Pb-Zn 找矿靶区。

致谢: 成文过程得到中国科学院地球化学研究所黄智龙研究员和云南大学周家喜研究员的指导和帮助, 表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 张长青, 吴越, 王登红, 等. 中国铅锌矿床成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2252-2268.
- [2] U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries (Zn and Pb)[M]. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>, 2014, 186-187(zinc); 90-91 (lead).
- [3] 印建平, 谭钢, 杨云松. 中国铅锌资源储备现状及勘查开发对策探讨[J]. 中国有色金属通报, 2015, (12): 79-81.
- [4] 涂光炽, 等. 分散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [5] Leach DL, Sangster DF, Kelley KD, et al. Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective [J]. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 2005, 561-607.
- [6] 戴自希. 世界铅锌资源的分布、类型和勘查准则[J]. 世界有色金属, 2005, (3): 15-23+6.
- [7] Zhou JX, Wang XC, Wilde SA, et al. New insights into the metallogeny of MVT Zn-Pb deposits: A case study from the Nayongzhi in South China, using field data, fluid compositions, and in situ S-Pb isotopes [J]. *American Mineralogist*, 2018, 103(1): 91-108.
- [8] 叶霖, 李珍立, 胡宇思, 等. 四川天宝山铅锌矿床硫化物微量元素组成: LA-ICPMS 研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(11): 3377-3393.
- [9] Zhou JX, Xiang ZZ, Zhou MF, et al. The giant Upper Yangtze Pb-Zn province in SW China: Reviews, new advances and a new genetic model [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, 154: 280-315.
- [10] Ye L, Nigel JC, Liu TG, et al. The Niujiaotang Cd-rich zinc deposit, Duyun, Guizhou Province, Southwest China: ore genesis and mechanisms of cadmium concentration [J]. *Mineralium Deposita*, 2012, 47(6): 683-700.
- [11] 李宗发. 湘西黔东南地区铅锌矿成因初步探讨[J]. 贵州地质, 1991, 8(4): 363-371.
- [12] 王华云. 黔东南铅锌矿的成矿规律及成矿模式[J]. 贵州地质, 1996, 13(1): 7-23.
- [13] 杨绍祥, 劳可通. 湘西北铅锌矿床的地质特征及找矿标志[J]. 地质通报, 2007, 26 (7): 899-908.
- [14] 陈国勇, 安琦, 范玉梅. 黔东南地区铅锌矿地质特征及成矿作用分析[J]. 贵州地质, 2005, 22(4): 252-259.
- [15] 陈国勇, 王砚耕, 冯济舟, 等. 贵州省铅锌成矿规律及找矿方向[R]. 贵州省地矿局一〇四地质大队, 2012.
- [16] 陈明辉, 孙际茂, 付益平, 等. 湘西龙山铅锌矿带地质地球化学及其找矿前景[J]. 资源环境与工程, 2008, 22 (2): 151-158.
- [17] 周怀龙, 姚祖星. 湘西千万吨铅锌矿勘探始末[J]. 国土资源导报, 2012, 6: 30-32.
- [18] 刘铁庚, 叶霖. 贵州都匀牛角塘大型独立镉矿床的地质地球化学特征[J]. 矿物学报, 2000, 20 (3): 279-285.
- [19] Ye L, Liu TG. Sphalerite chemistry, Niujiaotang Cd-rich Zinc deposit, Guizhou, southwest China [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1999, 18 (1): 62-68.
- [20] 叶霖, 刘铁庚. 贵州都匀牛角塘富镉矿床中镉的分布及赋存状态探讨[J]. 矿物学报, 2001, 20(1): 115-118.
- [21] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984, 372-378.
- [22] Ye L, Cook NJ, Ciobanu CL, et al. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: a LA-ICPMS study [J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 39(4): 188-217.
- [23] 刘铁庚, 张乾, 叶霖, 等. 自然界中 ZnS-CdS 完全类质同象系列的发现和初步研究[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 40-45.
- [24] 刘铁庚, 张乾, 叶霖, 等. 贵州牛角塘富镉矿床中发现原生硫镉矿[J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 191-196.
- [25] 刘铁庚, 叶霖, 王兴理, 等. 中国首次发现菱镉矿[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 443-446.
- [26] 刘铁庚, 叶霖, 周家喜, 等. 闪锌矿中的 Cd 主要类质同象置换 Fe 而不是 Zn[J]. 矿物学报, 2010, 30(2): 179-184.
- [27] 刘铁庚, 叶霖, 周家喜, 等. 闪锌矿 Cd、Fe 含量与矿化阶段的关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(1): 78-81.
- [28] 叶霖, 刘铁庚, 邵树勋. 富镉矿床的成矿流体地球化学研究: 以贵州都匀牛角塘富镉矿床为例[J]. 地球化学, 2000, 29(6): 597-603.
- [29] 付胜云. 湘西铅锌矿富矿成矿规律探讨[J]. 有色金属(矿山部分), 2011, 63(6): 27-35.
- [30] 杨绍祥, 劳可通. 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, 2007, 26(3): 330-340.
- [31] 叶霖, 潘自平, 李朝阳, 等. 贵州都匀牛角塘富镉矿床同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石, 2005, 25(2): 70-74.
- [32] 杨绍祥, 余沛然, 劳可通. 湘西北地区铅锌矿床成矿规律及找矿方向[J]. 国土资源导刊, 2006, (3): 92-98.
- [33] 张渠, 腾格尔, 张志荣, 等. 凯里—麻江地区油苗与固体沥青的成因分析[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1118-1124.
- [34] 刘劲松, 马昌前, 王世明, 等. 麻江古油藏原生水晶中固体沥青包裹体的发现及地质意义[J]. 地质科技情报, 2009, 28(6): 39-44+50.
- [35] 黄远成. 贵州凯里柏松铅锌矿地质特征及控矿地质因素初探[J]. 贵州地质, 2003, 20(1): 35-40.
- [36] Leach DL, Bradley DC, Lewchuk M, et al. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time: Implications from recent age-dating research [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36(8): 711-740.
- [37] 刘文均, 卢家烂. 湘西下寒武统有机地化特征-MVT 铅锌矿床有机质成矿作用研究(III)[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 290-296.
- [38] 钟九思, 毛昌明. 湘西北密西西比河谷型铅锌矿床特征及成矿机制探讨[J]. 国土资源导刊, 2007, (6): 52-56.
- [39] 杨绍祥, 谢小青, 龙国华. 湖南龙山-保靖铅锌矿成矿地质特征及找矿方向初步研究[R]. 湖南省地矿局四〇五队报告, 2003
- [40] 邓毅, 王常微, 郭晓芳. 黔东南控型铅锌矿的成矿背景及资源潜力初步估计[J]. 大科技, 2012, (8): 243-244.
- [41] 李莹, 刘凯, 汤朝阳, 等. 湘西黔东南地区 Zn 地球化学块体特征及锌资源潜力估算[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1270-1277.
- [42] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S、Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质论评, 2010, 56(4): 513-524.
- [43] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北天桥铅锌矿床热液方解石 C、O 同位素和 REE 地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 93-101.
- [44] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 贵州天桥铅锌矿床分散元素赋存状态及规律[J]. 矿物学报, 2009, 29(4): 471-480.
- [45] 周家喜, 黄智龙, 高建国, 等. 滇东北茂租大型铅锌矿床成矿物质来源及成矿机制[J]. 矿物岩石, 2012, 32(3): 62-69.