

文章编号: 1000-4734(2020)04-0376-09

黔西北岷都—蟒洞铅锌成矿带铅锌 产出特征与控矿因素

蔡国盛¹, 袁民汕¹, 杜蔺¹, 曾道国¹, 叶霖²

(1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局 地质矿产勘查院, 贵州 贵阳 550005; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 岷都—蟒洞铅锌成矿带是川滇黔矿集区内重要铅锌成矿带, 近年来随着猪拱塘超大型铅锌矿床的发现, 逐渐成为地质界研究的热点之一。本文在综合分析前期累积各类地质矿产勘查资料的基础上, 结合最新找矿勘查和研究成果, 通过对比区内铅锌矿体的产出特征及其就位空间, 总结其铅锌成矿规律和找矿标志, 为区内铅锌地质勘探深入提供实际依据。结果表明, 区内铅锌矿体产于二叠系峨眉山玄武岩组之下的碳酸盐岩地层中, 铅锌矿床(点)沿岷都—蟒洞主干断裂带成群成带分布, 多数铅锌矿(化)体与主控断裂平面距离小于1 km, 主干断裂(岷都—蟒洞断层 F₁)和前峰“冲-褶”体系及次级断裂带为铅锌富集成矿有利地段, 其中“褶皱+轴向断层”构造体系、“主干断裂+同向次级断裂”体系、“层间断裂、破碎带、溶洞”等控制了铅锌矿体的产出。此外, 区内铅锌矿体主要产于主干断裂破碎带内及其下盘, 受硅钙界面控制明显, 主要赋存于靠碳酸盐岩一侧, 而与地层层位无关, 仅部分为层间断裂控矿, 其中, “高碳泥质挤压蚀变带”和“铁锰碳酸盐化”是区内铅锌矿体主要的近—中近矿围岩蚀变。该区已知矿床的深部一定构造岩性组合空间内找矿潜力较大, 如岷都、筲箕湾和亮岩等铅锌矿深部, 以及 F₁ 南段半边街一带等。

关键词: 岷都—蟒洞断裂带; 主断层; 黔西北铅锌成矿特征; 硅-钙界面; 控矿因素; 找矿标志

中图分类号: P612; P618.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2020.40.017

第一作者: 蔡国盛, 男, 1976年生, 高级工程师, 地质矿产勘查专业。E-mail: gshcai@163.com

Geological characteristics and ore-controlling factors of Pb-Zn deposits in the Yadu-Mangdong Pb-Zn metallogenic belt, northwestern Guizhou, China

CAI Guo-sheng¹, GUN Ming-shan¹, DU Lin¹, ZENG Dao-suo¹, YE Lin²

(1. Institute of geology and mineral resources exploration, Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China; 2. State key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

Abstract: The Yadu-Mangdong Pb-Zn metallogenic belt is an important part in the Sichuan—Yunnan—Guizhou metallogenic province. In recent years, with the discovery of the Super-large scale Zhugongtang Pb-Zn deposit, it has been become one of the geological and geochemical research focuses. In the paper, based on the comprehensive analysis of previously accumulated data of geological exploration, and the combination of latest geological prospecting and research results in the area, we have carried out a comparative study on the occurrence characteristics and hosting positions of Pb-Zn orebodies, and have summarized the ore-forming regularity and prospecting criteria of Pb-Zn orebodies in order to provide practical evidences for further prospecting Pb-Zn resources in the belt. The researches show that the Pb-Zn orebodies in the Yadu-Mangdong belt are hosted in the carbonate stratum under the Permian Emeishan basalt Formation. The different sized Pb-Zn deposits are mainly distributed in groups and belts along the Yadu-Mangdong fault zone. The straight distances between orebodies and the major fault (Yadu-Mangdong fault F₁) are normally less than 1 km. The major

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: U1812402); 贵州省科学技术基金重点项目(编号: 黔科合基础[2017]1421)

fault (F_1), 'thrust fault-fold' system, and secondary faults are favorable spaces for the Pb-Zn enrichment and mineralization. Especially, the occurrences of Pb-Zn orebodies are controlled by the 'fold + axial faulting' structural system, 'major fault + homodromous secondary faults' system, and 'interlaminar fractures, fracture zones, and Karst caves', etc. Furthermore, the Pb-Zn orebodies in the belt are hosted mainly in the major fracture zone and its footwall rocks (mostly in carbonates), which were obviously controlled by the interface of Si-Ca, with a small number of Pb-Zn orebodies hosted in the interlaminar fractures. In particular, The dominant alterations are the 'high carbonaceous-argillaceous squeezing alteration' and 'ferromanganese carbonation' for wallrocks close to Pb-Zn orebodies in the belt. It is suggested that there is a good potential for prospecting Pb-Zn resources in the depths of known Pb-Zn deposits, including the Yadu, Shaojiwan, Liangyan deposits, and the Banbianjie area in the southern part of F_1 in the Yadu—Mangdong metallogenic belt.

Keywords: The Yadu-Mangdong fault zone; major fault; metallogenic characteristics of Pb-Zn deposits in the northwestern Guizhou; the Si-Ca interface; ore-controlling factors; indicator for prospecting mineral resources

岷都—蟒洞铅锌成矿带是川滇黔矿集区内一条重要铅锌成矿带^[1-4], 也是贵州省重要的铅锌矿资源产地, 近年来, 随着猪拱塘超大型铅锌矿^[5]的发现, 表明该成矿带具有良好的铅锌找矿前景, 受到地质研究者的广泛关注。区内采矿历史悠久, 积累了较丰富研究成果, 包括矿床地质特征、控矿因素、矿床成因、成矿物质来源的研究^[1-11]等, 但区域成矿规律缺少对比与总结, 相关地质找矿依然缺少实际理论依据, 制约了该区铅锌地质勘探的深入。本文在综合分析前期累积地质矿产勘查资料的基础上, 结合最新找矿勘查和研究成果, 通过总结多个矿床(点)铅锌产出特征, 分析铅锌矿体的赋存状态及其就位空间, 初步总结了岷都—蟒洞成矿带铅锌成矿规律, 初步构建其成矿模式, 并提出该区找矿思路 and 方向。

1 岷都—蟒洞成矿带地质特征

岷都—蟒洞铅锌成矿带位于小江、师宗—盘县、岷都—蟒洞 3 条深大断裂所围限的三角地带北东缘, 西以小江断裂带与康滇陆块相邻, 东南则以师宗-弥勒断裂带与右江造山带相接, 属扬子陆块构造单元。受多期构造活动影响, 区内构造特征复杂, 受康滇古陆东缘的小江深大断裂和岷都—紫云深大断裂控制。此外, 该成矿带位于六盘水断陷盆地的北部, 属峨眉山大火成岩省的东区东缘部分, 具有形成大型矿床的构造“边缘”成矿特征。区内前寒武纪地层未出露, 而寒武和志留纪地层以断夹块的形式出露, 泥盆纪以后区内属成长式较稳定地台环境, 其沉积作用以海相碳酸盐岩沉积为主, 海陆交互相及陆相碎屑岩沉积次之, 滨浅海台地相碳酸盐岩建造与海陆交互相及滨海沼泽相含煤碎屑岩建造交替。区内岩浆活动不发育, 主要为早二叠世晚期至晚二叠世早期基性岩浆喷溢形成的峨眉山玄武岩以及与其时间相近的同源、浅成侵入辉绿岩^[1-2]。

区内构造主体由岷都—蟒洞背斜组成, 由核部至两翼分别为出露中志留统、中上泥盆统、石炭系和二叠系地层, 其中, 中志留统为碎屑岩建造, 泥盆系仅出露中上统, 主要为碳酸盐岩建造, 石炭系以碳酸盐岩为主, 二叠系主要为陆相碎屑岩, 该背斜核部主体受岷都—蟒洞断裂带影响而破坏, 并形成由南西向北东方向逆冲的复杂的褶皱断裂带。区内主要断裂构造为一组沿黔中古陆边缘通过的以 F_1 为主的北西向高角度逆冲断层, 称之为岷都—蟒洞断裂带, 沿该断裂带构成黔西北地区岷都—蟒洞铅、锌、银、铁多金属成矿带, 其次该区发育北东向及北北东向一组破矿断层。岷都—蟒洞断裂带是一条切穿基底乃至上地幔的经历长时期发展的古断裂, 形成于早古生代晚期, 经历了长期构造运动, 是黔西北陆缘裂谷—六盘水断陷的边界断层^[12], 长期控制着两侧岩相古地理条件和沉积建造, 两侧岩相厚度变化很大。其总体走向 NW, 以岷都—蟒洞断层 (F_1) 为主体, 北西端从水槽堡起向南东经朱砂厂、羊角厂、草子坪、岷都、蟒洞、筲箕湾、白马厂, 直到窝崩, 长约 55 km, 宽约 30 km。在断裂的北东侧, 从可乐至蟒洞, 缺失志留系、泥盆系和石炭系下统地层, 石炭系中统地层厚度薄, 仅 100 m 左右;

而在其南西侧,志留系、泥盆系和石炭系地层都很发育,志留系地层厚度达 700 m,泥盆系和石炭系地层则增厚至 3000 m。

垭都—蟒洞断裂带由一系列倾向南西的叠瓦状逆冲断层、圆滑背斜及北东向断层叠加构成^[13-16](图 1),是区内构造变形最强烈地带,由北向南具有以下地质特征:

1) 构造带北段,在水潮堡、爬头寨一带,断层走向 315°,倾向 SW,倾角 45°~70°(图 2a),走向和倾向上呈波状起伏,在地表多形成高角度逆冲断层,深部渐缓。破碎带宽 0.5~25 m,垂直断距 300~1500 m,主要为断层角砾岩、碎裂岩及灰岩透镜体组成,带内挤压构造片理发育,暗示其具有较长的活动历史,总体表现为成矿前及成矿期活动强烈,规模较大。该区垭都—蟒洞断层(F₁)上盘地层通常为 S_{1h} 紫红色泥岩、P_{2l} 碳质泥岩、页岩、石英砂岩和 C_{2h} 灰岩等,下盘则主要为 P_{2q} 灰岩及白云质灰岩,为区内主断层和主要控矿断层,该断层控制了猪拱塘铅锌矿床最大主矿体 I-1—I-5 矿体的产出,矿体形态产状与断裂破碎带一致(图 2a)。

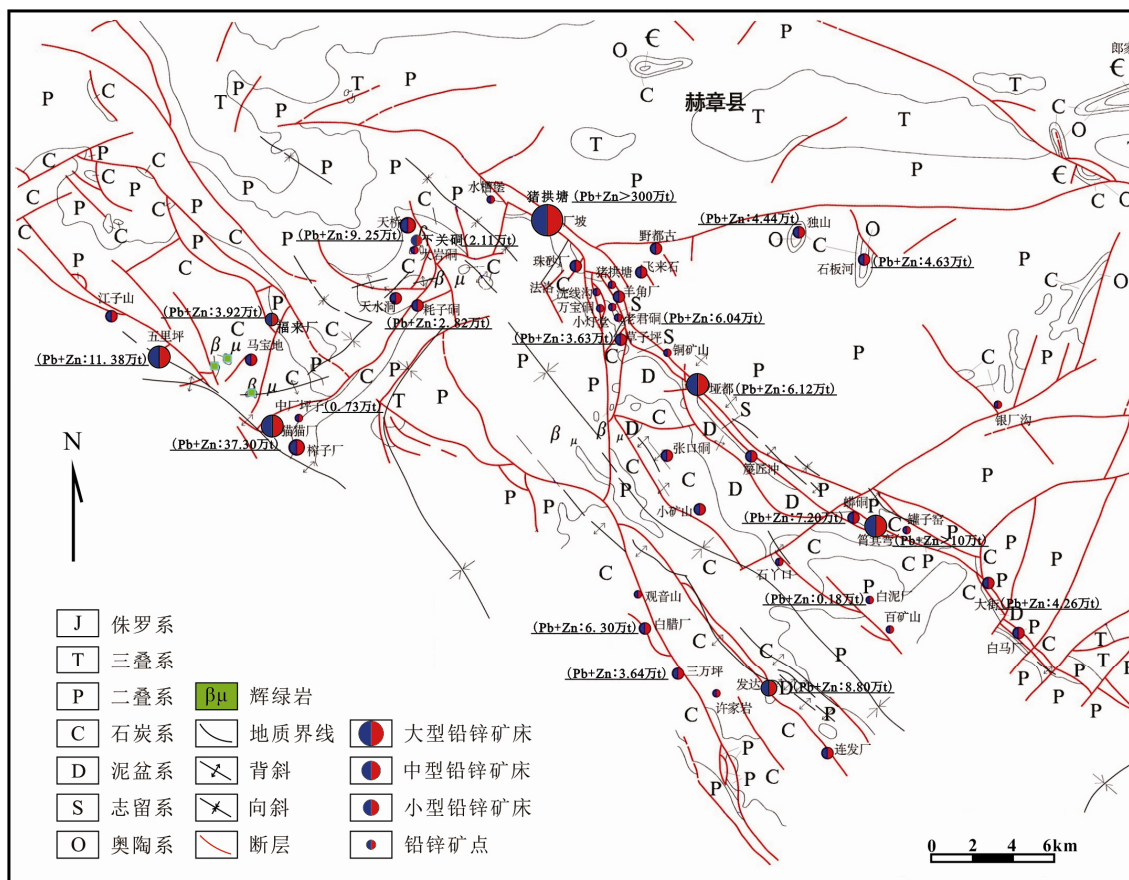
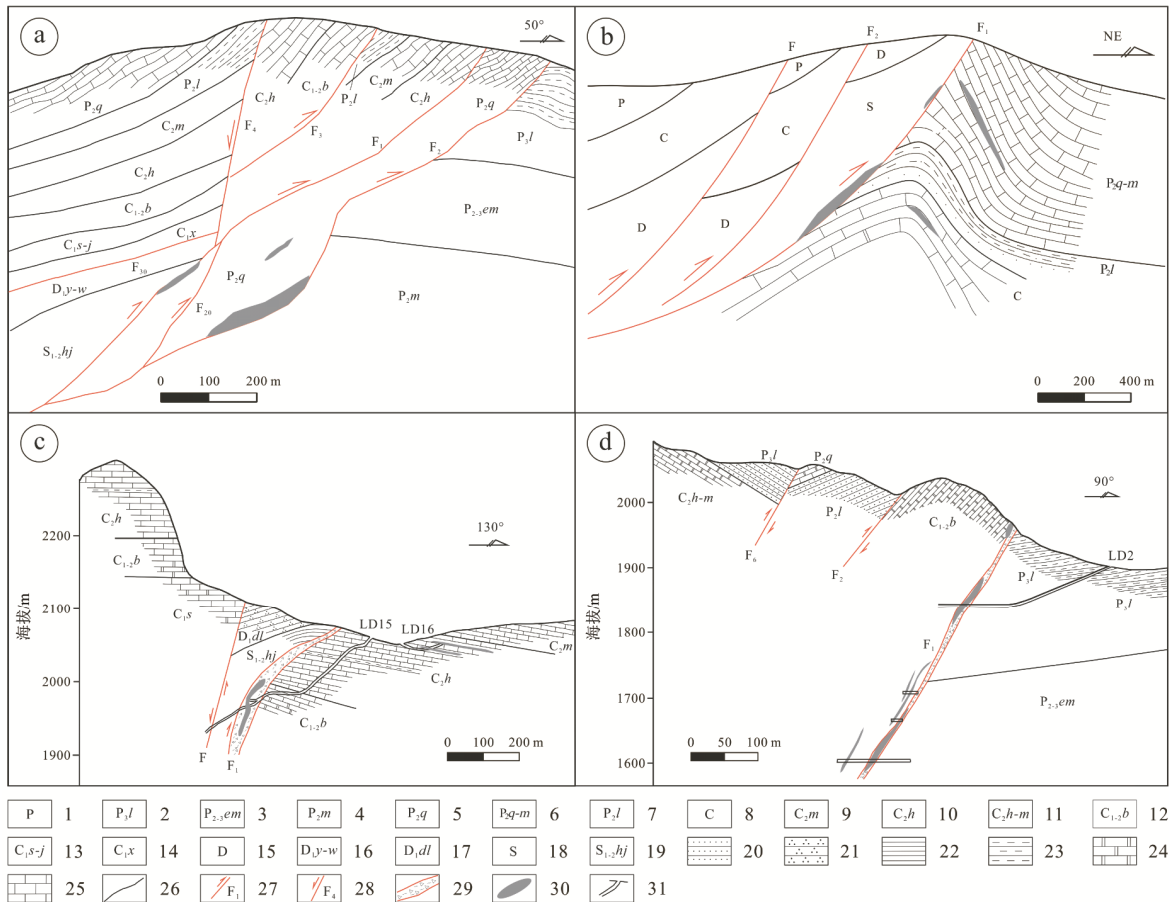


图 1 垭都—蟒洞成矿带构造简图(据文献[13-16]修编)

Fig. 1. A structural sketch map for the Yadu-Mangdong Pb-Zn metallogenic belt.

2) 构造带中段,分布于垭都—蟒洞一带,为多条断裂组成一个冲断裂带。垭都地区逆冲系前锋断层即为 F₁,前缘挤压带位于前锋断层前沿,应力越集中,挤压变形越强烈^[17],其中褶皱越紧密且斜歪,岩石越破碎,且次级断层发育。F₁上盘通常为 S_{1h} 和 D_{1ms} 等地层,而下盘则为 P_{2q} 和 P_{2m} 等地层,局部地层倒转(图 2b),常发育“黑色”断层破碎带(图 2c),并形成泥盆系蟒山组石英砂岩的圆形飞来峰,其基座为茅口灰岩。该断层带在蟒洞形成了叠瓦状构造,主断裂 F₁ 纵贯全区,其走向与褶皱构造一致,在 285°~290°之间,倾向南西,倾角 50°~70°,与成矿关系密切,控制了该区的构造轮廓和铅锌矿的分布。此外,矿区横向断层(北东向、北北西向)亦较发育,常切割北西向的褶皱、断裂,形成阶梯状构造,且有平移现象,平移断距 0.5~1 km。

3) 构造带南段, 在大街、亮岩一带, 同样表现为叠瓦状推覆构造体。在亮岩(大街)断层倾向 $240^{\circ}\sim 270^{\circ}$, 倾角 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。断层破碎带宽 $1\sim 3\text{ m}$, 上盘出露泥盆系、石炭系地层, 下盘主要为二叠系龙潭组 (P_3l)、峨眉山玄武岩组 (P_{2-3em}) 地层(图 2d)。



1-二叠系; 2-二叠系龙潭组; 3-二叠系峨眉山玄武岩; 4-二叠系茅口组; 5-二叠系栖霞组; 6-二叠系栖霞组—茅口组; 7-二叠系梁山组; 8-石炭系; 9-石炭系马平组; 10-石炭系黄龙组; 11-石炭系黄龙组—马平组; 12-石炭系摆佐组; 13-泥盆系; 14-泥盆系上组—旧司组; 15-泥盆系; 16-泥盆系尧梭组—望城坡组; 17-泥盆系丹林组; 18-志留系; 19-志留系韩家店组; 20-砂岩; 21-石英砂岩; 22-页岩; 23-泥岩; 24-白云岩; 25-灰岩; 26-地层界线; 27-逆断层; 28-正断层; 29-断层破碎带; 30-铅锌矿体; 31-坑道

图 2 岷都—蟒洞断裂带北段(猪拱塘矿区)构造剖面图(a, 据文献[5]修改)、蟒洞—筲箕湾矿区叠瓦状构造示意图(b, 据文献[15-16]修改)、草子坪铅锌矿区 1 号剖面图(c, 据文献[15]修改)和亮岩铅锌矿区地质剖面图(d, 据文献[15-16]修改)

Fig. 2. Geological profiles for the Zhugongtang (a), Mangdong—Shaojiwan (b), Chaoziping (c), and Liangyan (d) Pb-Zn deposits in the Yadu-Mangdong belt.

总体而言, 黔西北地区 F_1 断层通过地段均有不同规模铅锌矿化产出, 草子坪 I 号矿体、筲箕湾 II 号矿体、蟒洞 I 号矿体均产于 F_1 断层的次生断裂构造带中, 目前已发现矿床(点) 30 余处, 包括猪拱塘(超大型)、筲箕湾(中型)、朱砂厂、草子坪、岷都、蟒洞等铅锌矿床和矿点。可见, 岷都—蟒洞断裂带(特别是岷都—蟒洞断层 F_1) 是该区最重要的控矿构造。

2 典型铅锌矿床矿体赋存空间

2.1 猪拱塘铅锌矿床

猪拱塘矿床是贵州省新发现的超大型铅锌矿床^[5], 其矿体主要赋存于北西向岷都—蟒洞断裂带的 F_1 、 F_2 断裂破碎带及其次级断裂破碎带内, 呈透镜状、似层状或脉状沿断层破碎带和层间碎裂带产出,

矿体产出类型主要为赋存于北西向断层破碎带中的“断裂型”脉状和筒柱状铅锌矿体,其次为赋存于北西向断层旁侧的层间破碎带中的透镜状铅锌矿体(图 2a)。铅锌矿体规模受断裂破碎带陡缓起伏控制明显,其走向和倾向上均呈舒缓波状展布,产状与断层破碎带大致吻合,局部见膨缩、分枝复合现象。其中, I-1 矿体规模最大,厚度和品位较稳定,是矿区主矿体,矿体埋深在 650~880 m 之间,走向长 1640 m,倾向延深宽 120~530 m,走向 300°,倾向南西,倾角为 31°~52°。该矿体北西段及南东段出现矿体膨大,往两端及中部收缩,由深部至浅部逐渐变薄直至尖灭,矿体厚度变化较大(0.95~67.01 m,平均 11.01 m)。矿石中锌和铅的平均品位分别为 8.71%和 2.81%,铅锌资源量达 $181.92 \times 10^4 \text{ t}^{[5]}$ 。

2.2 草子坪铅锌矿床

该矿床位于埡都一麟洞断层 F_1 与张口洞断层的交汇处,断层构造复杂,层间破碎发育,出露地层主要为石炭系。LD14、LD15 见矿厚度分别大于 3 m 和 3.6 m,为草子坪铅锌矿床中规模最大盲矿体。矿床中铅锌矿体产于石炭系摆佐组白云岩和志留系韩家店组(S1hj)钙质页岩夹泥质粉砂岩接触带,即埡都一麟洞逆断层 F_1 陡倾斜断裂破碎带中(图 2c),长度大于 100 m,呈近北北西走向,平均品位 Pb 12.26%, Zn 20.84%、Ag 54.7×10^{-6} 。矿体标高在 2000~1850 m 之间,以块状和角砾状硫化矿为主,局部见半土状氧化矿。

2.3 埡都铅锌矿床

埡都地区铅锌矿化产于埡都一麟洞断裂带之 F_1 下盘茅口组(P_2m)及栖霞组(P_2q)灰岩中,沿 F_1 铅锌矿化长度大于 7 km,地表露头共计 13 处,通过老硐清理编录和钻探工程揭露,目前共发现铅锌矿体 10 余个。埡都矿区 F_1 下盘为一紧密尖棱褶皱,埡都背斜两翼地层为层间构造带含铅锌矿体。其中,南西翼靠近 F_1 断层局部见原生硫化矿体,矿体为缓倾,倾向 220°,倾角 32°;北东翼岩层产状较陡,主要见陡倾斜氧化矿体,倾向 30°~60°,倾角 60°~80°,矿体为似层状,与地层产状一致,受层间构造及溶洞控制(图 3a~d)。主矿体 I 号矿体位于矿区中部海坝矿段,产于 F_1 下盘栖霞组石灰岩中,该矿体标高 1995~1983 m, Pb 和 Zn 平均品位分别为 0.03%和 17.49%。见矿厚度 4.09 m,矿体产状 $40^\circ < 75^\circ$,矿体与围岩分界明显。

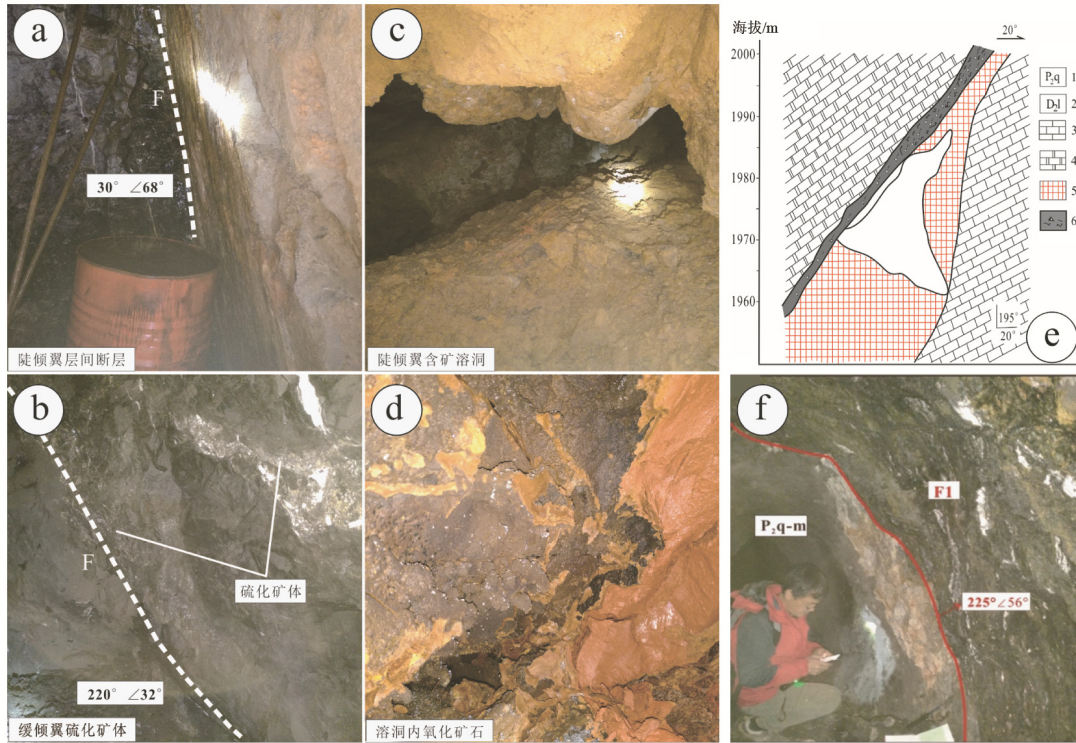
2.4 箐箕湾铅锌矿床

矿区 F_1 断裂走向为 285°~290°,倾向南西,倾角 50°~70°,其上盘地层为中泥盆统邦寨组(D_2b)砂岩和砂质页岩、独山组(D_2d)白云岩、白云质灰岩夹砂岩^[9,18]。该矿床铅锌矿体赋存于埡都一麟洞断裂破碎带(F_1)及下盘 P_2q 灰岩中,矿区沿 F_1 断层带有多处铁矿采场及老硐,深部老硐揭露 F_1 断层表现为明显的挤压构造特点,断面呈波状起伏,断裂带发育灰岩透镜体,高炭泥质胶结物受明显挤压变形,局部发育定向构造,称为“黑色破碎带”,区内最厚可达 30 余米,其下盘多产厚富铅锌矿体,破碎带内偶见方铅矿、闪锌矿、角砾及浸染状细粒黄铁矿、闪锌矿^[18]。I 号矿体为矿区最大铅锌矿体,产于 F_1 黑色破碎带下部 P_2q 灰岩中,矿体呈陡倾斜不规则脉状、透镜状(图 3e~f),长 120 m,倾向延深 280 m,见矿标高在 2171~1960 m 之间。硫化铅锌矿平均厚度 12.51 m,矿石中铅锌平均品位分别为 12.19%和 7.14%,并伴生 Ag(平均品位 61.7×10^{-6})^[14]。

2.5 亮岩铅锌矿床

矿床位于埡都一麟洞铅锌成矿带南东段,处于埡都一麟洞逆断层与牛鼻洞一大街断层的交汇处,断层构造复杂,出露地层以石炭系和二叠系为主。矿区铅锌矿体赋存于 F_1 断层破碎带中,矿体呈脉状产于断裂破碎带或其近上盘碳酸盐岩裂隙中(图 2d)。其中, I 号矿体长 360 m,延深近 400 m,平均厚 2 m。矿体倾向 250°~270°,倾角 45°~60°。矿石以硫化矿为主,呈深灰色、黑色,具致密块状结构,团块状、浸染状构造,矿石中 Pb 和 Zn 平均品位分别为 2.17%和 10.57%^[15]。此外,矿区深部, F_1

断层两盘分别为玄武岩和摆佐组白云岩, 断层带边上, 玄武岩出现较强的褪色化、绿泥石化、绿帘石化、硅化蚀变, 另一侧出现大量的方解石化和白岩岩化。



1-二叠系栖霞组; 2-泥盆系龙洞水组; 3-灰岩; 4-白云岩; 5-铅锌矿体; 6-断裂破碎带

图3 岷都矿区构造及矿体特征 (a~d) 及筲箕湾老硐编录剖面 (e) 与老硐 F₁ 断裂带特征 (f)

Fig. 3. Features of faults and Pb-Zn orebodies in the Yadu deposit (a~d) and a logging profile (e) and feature of F₁ fault (f) in underground edit of the Shaojiwan deposit.

2.6 其他铅锌矿床 (点)

岷都一麟洞主断裂带南西的发达铅锌矿床为逆断层下石炭旧司组与上石炭马坪组 (北东盘) 接触, 矿区断层破碎带宽达 80 m 左右, 断层破碎带中充填铅锌矿体。相似的地质产出特征见于五里坪铅锌区, 其铅锌矿体产于上司组, 顶板为上司组第四段灰色角砾状硅化灰岩, 底板为上司组第 3 段顶部深灰、灰黑色、页岩或灰岩, 矿石构造包括灰黑色角砾状和团块状 (粒径 5~30 cm) 两种, 铅锌矿物与白色重晶石呈挤压糜棱状杂乱散布于黑色页岩中。

综上所述, 区内铅锌主要矿体均产于岷都一麟洞断裂带主断层 F₁ (即前锋断层) 下盘及其前锋断层前缘次级断裂带紧密褶皱带内。

3 讨论

3.1 硅钙界面控矿特征

本区铅锌产出主要表现为以下几种形式: 1) 断裂型铅锌矿体, 区内韩家店组 (S₁h_j) 泥岩、页岩往往为逆冲断层的上盘, 与下盘的系列碳酸盐岩形成一种硅钙界面, 带内具有代表性包括猪拱塘、洗线沟-羊角厂、草子坪和岷都等矿床 (点), 其主要铅锌矿体就位于该界面上; 2) 断层破碎带中发育 “黑色破碎带”, 其由黑色含碳质断层泥和角砾等组成, 铅锌矿体就位于黑色破碎带之下, 黑色泥碳质层与断层下盘碳酸盐岩构成硅钙界面, 代表性矿床包括筲箕湾和铜烘山等; 3) 该区梁山组砂页岩、峨眉山玄武岩和龙潭组煤系地层等常形成陡倾断层的一盘, 与另一盘碳酸盐岩形成硅钙界面, 为青山^[19]、亮

岩、发达等铅锌矿床矿体的赋存空间；4) 层间顺层矿体，其邦寨组 (D_{2b})、旧司组 (C_{1j})、梁山组 (P_{2l})、龙潭组 (P_{3l}) 以及栖霞组 (P_{2l}) 中泥页岩夹层，与下伏碳酸盐岩形成硅钙界面，形成遮挡层^[20]、屏蔽和界面的作用，矿体就位于界面之下。上述产出特征可以看出，本区铅锌矿化与川滇黔成矿域内铅锌矿床^[21]相似，硅钙界面控矿特征明显。

3.2 主干断裂分级控矿规律

如前所述，区内构造控矿特征明显，具分级控矿特点：1) 垭都—蟒洞断裂带，由一系列走向北西、倾向南西的叠瓦状逆冲断层、圆滑背斜及北东向小断层叠加构成，其主干断裂为前锋断层 F₁，主干断裂构造带，是成矿热卤水（矿液）的上升通道，受硅钙界面的控制，区内在 F₁ 断裂下盘常形成富厚大矿体，铅锌矿体与断层产状一致，如筲箕湾、草子坪和猪拱塘等矿床；2) 陡倾斜与主干逆断层大角度相交的羽状逆断层是上升热卤水的分散或储存系统，层间构造（岩层挠曲、层间滑动、剥离空间等）属于储矿构造，次级断层上、下盘均可成矿，这是由于多矿源层、多容矿层，矿带构造形式和多期成矿等因素决定，如叠瓦式的逆冲断层，此逆断层的上盘及彼逆断层的下盘，区内洗线沟铅锌矿床深部的隐伏矿体可能属于该类型；3) 在同一矿床中，存在物、化性质相近的多个容矿层，由于羽状断裂的沟通，及岩层挠曲，层间滑动、剥离等，形成了同位成矿的现象^[20]，如猪拱塘的多个层位成矿，赋矿层位以二叠系中统栖霞组 (P_{2q}) 和茅口组 (P_{2m}) 为主，其次为泥盆系上统尧梭组 (D_{3y})、望城坡组 (D_{3w})、石炭系下统摆佐组 (C_{1b})、中统黄龙组 (C_{2h})。

此外，区内已发现的铅锌矿（化）体投影至平面上（图 4），与各成矿亚带主控构造进行缓冲区对比分析，可总结出以下规律：1) 各铅锌矿（化）体平面投影点与主控断裂水平距离一般不超过 2.5 km，离主控断层距离最远矿体仅为 2.06

km，多数铅锌矿（化）体与主控断裂平面距离均 < 1 km；2) 主要铅锌矿床均产于北西向与北东向或近东西向断层交汇部位；3) 垭都—蟒洞成矿带所发现的 3 个中-超大型铅锌矿床沿构造带具有一定的等距性分布特点，大致间距为 13 km 左右。

3.3 区域成矿模式、找矿标志与找矿方向

黔西北垭都—蟒洞成矿带内铅锌矿床（点）地质特征表明，其后生成矿特征明显，矿物组成、结构构造、成矿温度、围岩蚀变等地质地球化学特征与川滇黔铅锌矿集区^[22-27]及典型 MVT 型矿床^[23]较相似。综合已有的研究成果，本研究认为该区铅锌成矿作用与 MVT 型铅锌矿床成矿模式基本一致，其成矿模式如图 5 所示，具体包括以下几个阶段：1) 加里东期—华力西早期：加里东运动导致地壳拉张，沿区域古陆边缘同生断层形成断陷盆地，盆地内沉积了泥盆纪—石炭纪沉积建造，底部为碎屑岩建造，中上部为碳酸盐岩建造。区内相对宁静的台地深水槽沟和凹陷半闭塞-闭塞的水下泻湖区，为富含有机

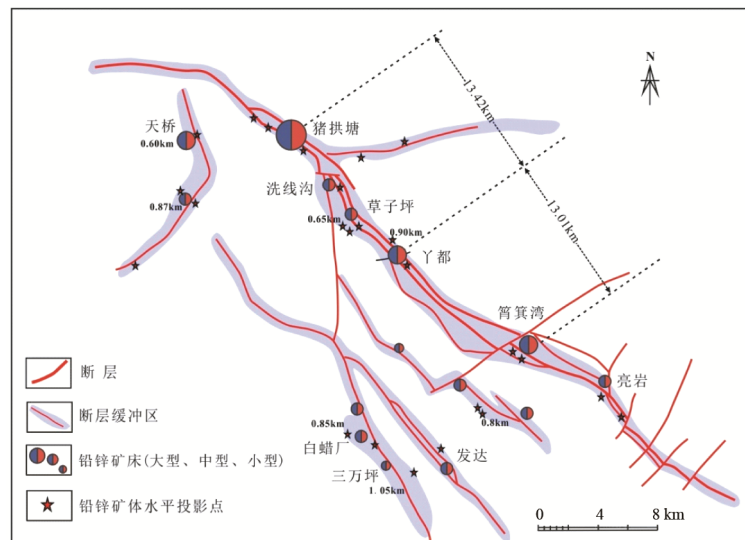


图 4 主控断裂构造与铅锌矿（化）体缓冲区叠加图

Fig. 4. A map showing the overlay of major fault buffers and Pb-Zn orebodies.

质、富硫、低能的还原环境, 有利于 Pb、Zn、Ag 等金属元素的初步富集^[1-2]。大气降水、海水沿断裂通道下渗, 同时随着地层压实作用, 在盆地内形成初始热卤水; 2) 华力西中晚期: 裂隙作用加剧, 该区地壳不断拉升变薄, 驱动盆地热卤水上涌、大气降水下渗, 形成对流循环, 并不断萃取地层中的 Pb、Zn、Ag 等成矿元素, 形成含矿热液流体; 3) 印支期-燕山期: 断陷盆地封闭, 消亡。印支期, 在区域强烈挤压构造背景下, 挤压应力驱动深部含矿热液沿区域深大断裂向浅部迁移, 与层间水、大气降水混合, 在碳酸盐岩层间构造带、断裂带及次级断裂等张性空间, 流体发生混合并沉淀成矿 (图 5)。此外, 燕山期强烈区域挤压褶皱作用, 对已形成的铅锌矿体空间形态进行了改造, 如亮岩—窝弓矿区沿构造带产出的铅锌矿体, 矿石常呈明显的角砾-团块状构造^[16]。

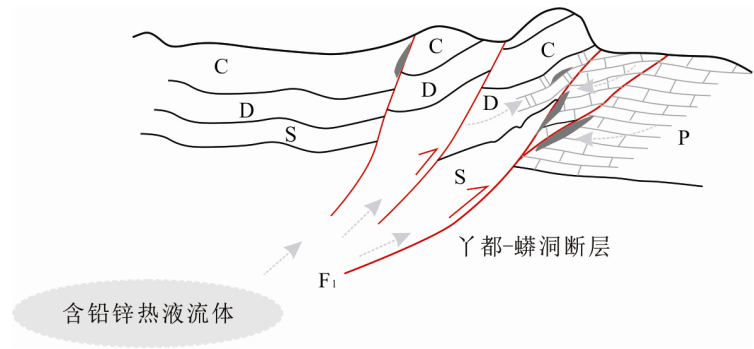


图 5 区域成矿模式简图
Fig. 5. A schematic cartoon for the Pb-Zn metallogeny in the Yadu-Mangdong Pb-Zn metallogenetic belt.

根据区内典型矿床铅锌矿体产出特征、构造控矿规律、蚀变类型以及区内找矿成功经验, 总结区内找矿标志 (表 1) 包括: (1) 区域主干断裂控制铅锌矿床 (点) 的分布, 铅锌矿体产出受 “断褶构造体系” 控制, “褶皱+轴向断层” 构造体系、“主干断裂+同向次级断裂” 体系、“层间断裂、破碎带、溶洞” 等是主要控矿因素; (2) 铅锌矿体主要赋矿岩性为海相碳酸盐岩, 包括了二叠系峨眉山玄武岩组之下的诸多碳酸岩地层, 其中 “高碳泥质挤压蚀变” 为主要近矿围岩蚀变, 中近矿围岩蚀变则以 “铁锰碳酸盐化” 为主。总体而言, 区内主干断裂带控制区内铅锌矿床、矿体的产出和分布, 主干断裂 “冲-褶” 体系及前锋次级断裂带为铅锌矿体赋存有利地段, 深入剖析区内 “冲-褶” 构造体系及其深部延展特征将会为今后地质找矿提供重要依据, 并拓宽找矿思路。

表 1 区域铅锌矿找矿标志一览表

Table 1. Summary of the indicators for prospecting Pb-Zn resources in the Yadu-Mangdong Pb-Zn metallogenetic belt

找矿标志		主要特征
区域控矿构造	构造单元 断陷盆地 构造带	扬子准地台西南缘, 六盘水断陷之威宁 NW 向构造变形区。 水城断陷盆地北东缘。 NW 向的岷都—蟒洞构造带。
矿区赋矿构造	断层 层间破碎带	“褶皱+轴向断层” 构造体系控矿: 矿体赋存于断层附近褶皱两翼地层中 (天桥、堰都)。 “主干断裂直接含矿”: 矿体赋存于主控断裂带中 (猪拱塘、蟒洞—筲箕湾); “主干断裂+同向次级断裂” 体系控矿: 主干断裂与同向次级断裂深部交汇区及交汇地段下盘为深部隐伏矿体的有利找矿地段 (猪拱塘); “层间断裂、破碎带、溶洞直接容矿”。
含矿地层	泥盆系 石炭系 二叠系 第四系	独山组、融县组。 上司组、摆佐组、黄龙组、马平组。 栖霞组、茅口组含矿最优, 形成矿体工业价值最大。 仅有残坡积砂矿堆积。
含矿围岩	建造 岩性	浅海碳酸盐岩建造。 粗晶白云岩、白云质灰岩、灰岩。
围岩蚀变		网脉状碳酸盐化+ 硅化+ 黄铁矿化+ 铁锰碳酸盐化 (近矿—中近矿蚀变标志); 高碳泥质挤压蚀变带 (碳质+泥质+黄铁矿化+碳酸盐化, 近矿—中近矿蚀变标志)。
矿石类型	氧化矿 硫化矿	产于地表之下, 潜水面之上, 多见白铅矿、菱锌矿、铅矾、褐铁矿等、矿石疏碎、褐黄色、矿体形态多种。 多产于潜水面下或泥盆系地层中, 以方铅矿、闪锌矿为主, 矿体形态多呈脉状、不规则状、柱状。

5 结 论

1) 垭都—蟒洞断裂带为一逆冲推覆断层带, 区内铅锌矿床(点)沿该断裂带成群成带分布, 多数铅锌矿(化)体与主控断裂平面距离小于 1 km, 中-超大型铅锌矿床具有等距分布特点。其中铅锌矿体多赋存于主断层垭都—蟒洞断层(F₁)下盘破碎带内或次级断裂带中, 断层内矿体多产于断层产状由陡变缓处、破碎带由窄变宽处以及旁侧次级断裂发育部位。

2) 铅锌矿体受“硅-钙”界面的控制明显, 矿体主要赋存于界面中靠碳酸盐岩一侧, 而与地层层位无关。今后地质勘探过程中物探方法的运用应特别注意该类界面, 高精度的物探方法可能探获断层的深展形态, 如产状的变化, 也可能探获类似的“黑色破碎带”或其他的“硅-钙”界面。

3) 黔西北垭都—蟒洞成矿带内铅锌成矿作用与 MVT 型铅锌矿床较为相似。其找矿标志包括“断褶构造体系”、“褶皱+轴向断层”、“主干断裂+同向次级断裂”、“层间断裂、破碎带、溶洞”等。此外, 地层并非主要控矿因素, “高碳泥质挤压蚀变带”和“铁锰碳酸盐化”是区内铅锌矿体主要的近—中近矿围岩蚀变。该区已知矿床的深部一定构造岩性组合空间内找矿潜力较大, 如垭都、筲箕湾和亮岩等铅锌矿床深部, 以及 F₁ 南段半边街一带等。

参 考 文 献:

- [1] 金中国, 黄智龙. 黔西北铅锌矿床控矿因素及找矿模式[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 467-472.
- [2] 金中国. 黔西北地区铅锌矿控矿因素、成矿规律与找矿预测[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [3] 陈大, 黄智龙, 张伦尉, 等. 贵州西北部江子山—蟒洞构造带丙类铅锌矿床特征及其形成机制[J]. 矿物学报, 2012, 32(3): 432-440.
- [4] 韩润生, 王明志, 金中国, 等. 黔西北铅锌多金属矿集区成矿构造体系及其控矿机制[J]. 地质学报, 2020, 94(3): 850-866.
- [5] 何良伦, 吴大文, 赵锋, 等. 贵州赫章猪拱塘超大型铅锌矿床地质特征与找矿模型及找矿方向[J]. 贵州地质, 2019, 36(2): 101-109.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 黄智龙, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 西南大面积低温成矿域: 研究意义、历史及新进展[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 309-314.
- [9] 肖宪国, 黄智龙, 周家喜, 等. 黔西北筲箕湾铅锌矿床成矿物质来源: Pb 同位素证据[J]. 矿物学报, 2012, 32(2): 294-299.
- [10] 李珍立, 叶霖, 黄智龙, 等. 贵州天桥铅锌矿床闪锌矿微量元素组成初探[J]. 矿物学报, 2016, 36(2): 183-188.
- [11] 朱路艳, 苏文超, 沈能平, 等. 黔西北地区铅锌矿床流体包裹体与硫同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(11): 3431-3440.
- [12] 毛健全, 张启厚, 顾尚义, 等. 水城断陷构造演化及铅锌矿研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1998, 104-129.
- [13] 贵州省有色地质矿产勘查院. 贵州水城—织金—纳雍地区铅锌银矿资源评价报告[R]. 贵阳: 贵州省有色和核工业地质局, 2004.
- [14] 贵州省有色地质矿产勘查院. 贵州省赫章县筲箕湾铅锌矿区深部普查报告[R]. 贵阳: 贵州省有色和核工业地质局, 2007.
- [15] 贵州省有色地质矿产勘查院. 贵州垭都—蟒洞铅锌银评价报告[R]. 贵阳: 贵州省有色和核工业地质局, 2009.
- [16] 贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院. 贵州省赫章县境内铅锌矿权空白区及拟灭失矿业权区铅锌资源潜力评价报告[R]. 贵阳: 贵州省有色和核工业地质局, 2019.
- [17] 朱志澄. 逆冲推覆构造[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1991.
- [18] 胡晓燕, 蔡国盛, 苏文超, 等. 黔西北筲箕湾铅锌矿床闪锌矿中的成矿流体特征[J]. 矿物学报, 2013, 33(3): 302-307.
- [19] 金中国, 戴塔根, 张应文. 贵州水城铅锌矿带成矿条件及控矿因素与成因[J]. 矿产与地质, 2005, 19(5): 491-494.
- [20] 柳贺昌, 林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1999.
- [21] 张长青, 叶天竺, 吴越, 等. Si/Ca 界面对铅锌矿床定位的控制作用及其找矿意义[J]. 矿床地质, 2012, 31(3): 405-416.
- [22] 张长青, 毛景文, 吴锁平, 等. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 336-348.
- [23] 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.
- [24] 胡宇思, 叶霖, 黄智龙, 等. 滇东北麻栗坪铅锌矿床微量元素分布与赋存状态: LA-ICPMS 研究[J]. 岩石学报, 2019, 35(11): 3477-3492.
- [25] 李珍立, 叶霖, 胡宇思, 等. 云南富乐铅锌矿床黄铁矿微量元素(稀散)元素组成及成因信息: LA-ICPMS 研究[J]. 岩石学报, 2019, 35(11): 3370-3384.
- [26] Li Zhenli, Ye Lin, Hu Yusi, et al. Origin of the Fule Pb-Zn deposit, Yunnan Province, SW China: insight from in situ S isotope analysis by NanoSIMS [J]. Geology Magazine, 2020, 157(3): 393-404.
- [27] Leach DL, Bradley DC, Huston D, et al. Sediment-hosted lead-zinc deposits in earth history [J]. Economic Geology, 2010, 105: 593-625.