

文章编号: 1000-4734(2020)04-0475-08

黔西北水潮堡—白马厂地区娅都—蟒洞断层对 铅锌成矿的空间控制

曾道国¹, 蔡国盛^{1*}, 杜蔺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: 黔西北是贵州省重要铅锌资源基地, 近年找矿取得重大突破, 首次在贵州发现超大型铅锌矿床。水潮堡—白马厂地区是黔西北代表性铅锌成矿带, 该区铅锌矿床(点)地质特征综合对比结果表明, 区内铅锌矿床(点)具有相似的地质特征, 其矿物组合简单, 具低温矿物组合特征, 主要金属矿物以闪锌矿为主, 含少量方铅矿及黄铁矿, 成矿元素以 Zn 为主, 围岩蚀变较弱。娅都—蟒洞逆冲断层是该区最重要控矿构造, 区内铅锌矿床(点)沿该断裂带成群成带展布, 铅锌矿体主要产于该断层下盘及其破碎带内, 矿体与该断层垂距 0~200 m 范围是最有利赋矿空间, 断层产状由陡变缓、破碎带由窄变宽、次级断层和褶皱发育地段是铅锌富集重要地段。综合近年找矿勘查成果, 本研究认为娅都—蟒洞断裂带尚有较大找矿空间, 现有矿床(点)深部与边部娅都—蟒洞断层下盘 400 m 范围内应是今后铅锌地质勘探重点区域, 虽然栖霞-茅口组碳酸岩地层是区内铅锌重要赋矿层位, 但多层位赋矿特征在今后地质勘探中不应忽视。此外, 研究区南东部的亮岩—窝棚地段与猪拱塘超大型矿床的成矿地质条件相似, 找矿潜力大, 是有望新发现中-大型铅锌矿床的靶区。

关键词: 铅锌矿床; 娅都—蟒洞断层; 空间关系; 找矿方向; 黔西北地区

中图分类号: P612; P68.4

文献标识码: A

doi: 10.16461/j.cnki.1000-4734.2020.40.024

第一作者: 曾道国, 男, 1969 年生, 高级工程师, 长期从事矿产地质勘查及技术管理工作。E-mail: 826845843@qq.com

Spatial relationship between the Yadu—Mangdong fault and lead-zinc mineralization in the Shuichaobao—Baimachang area, northwestern Guizhou, China

ZENG Dao-guo¹, CAI Guo-Sheng^{1*}, DU Lin¹, YE Lin²

(1. Institute of Geology and Mineral Resource 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 northwestern Guizhou is an important base of lead and zinc resources in Guizhou Province. In recent years, an important breakthrough for prospecting mineral resources in the area have been achieved. Especially, the first super-large sized Pb-Zn deposit (Zhugongtang) in Guizhou Province was found. The Shuichaobao—Baimachang area is a typical representative of Pb-Zn metallogenic belts in the northwestern Guizhou. The comprehensively comparative study of geological characteristics of Pb-Zn deposits show that those Pb-Zn deposits have similar geological features, such as a simple assemblage characterized with low temperature minerals, the ore minerals of major sphalerite with minor galena and pyrite, mainly the Zn mineralization, and the weak wall rock alteration. It is believed that the Yadu-Mangdong thrust

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: U1812402; 41673056)

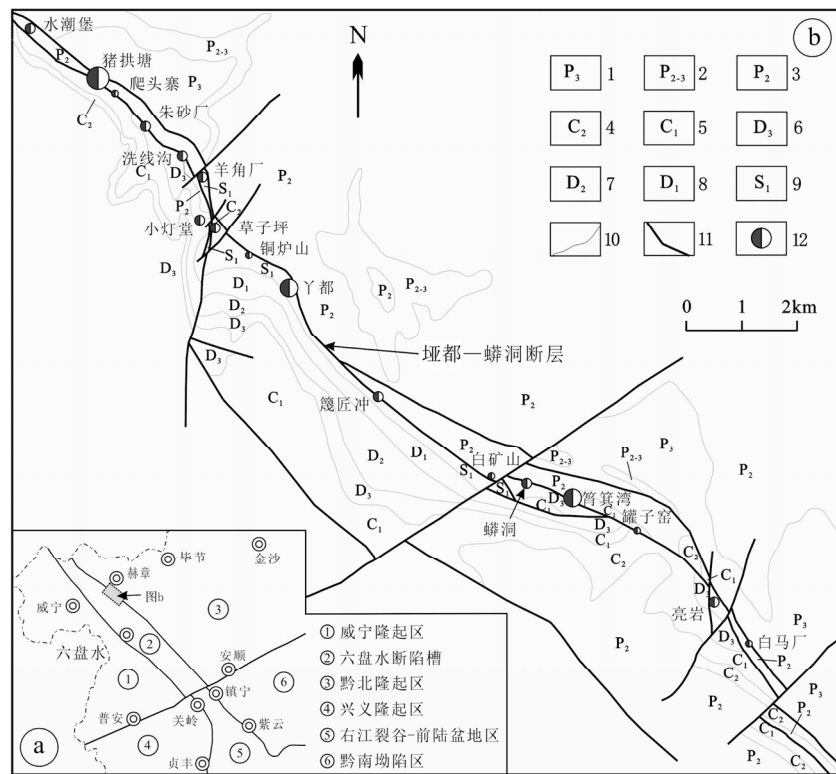
* 通讯作者, E-mail: 476251956@qq.com

fault is the most important ore- controlling structure in the area, as different sized deposits are distributed along the fault zone in groups, and their Pb-Zn orebodies are mainly hosted in the fault and its footwall in which orebodies are favorably hosted in the space about 0—200 m to the fault, especially the locations where the dipping angle of the fault zone was changed from steep to flat, and width of the fault zone was changed from narrow to wide, and the secondary faults and folds was strongly developed. With the summary of geological mineral exploration results in recent years, it is believed that there is a good potential for further prospecting Pb-Zn resources in the Yadu—Mangdong fracture zone. It is suggested the geological exploration should focus on spaces where are in footwall of the Yadu—Mangdong thrust fault within distances of 0—400 m away from the fault and in the depth surrounding areas of the known orebodies of deposits. Although carbonates of the Permian qixia and Maokou formations are important ore-hosting strata in the area, characteristics of the ore hosted in multi-layers of strata should not be ignored in future geological exploration of Pb-Zn resources in the area. Furthermore, geological features of the Liangyan—Wopeng block of the study area are similar to those of the Zhugongtan super-large deposit, showing that due to the good potential for prospecting Pb-Zn resources, it could be a favorable prospecting target for discovering possible medium-large scale Pb-Zn deposit.

Keywords: lead-zinc deposit; the Yadu—Mangdong fault; spatial relationship; prospecting target; the northwestern Guizhou

黔西北地区属于川滇黔铅锌成矿域的重要组成部分^[1-2],是贵州省铅锌资源主要基地,赫章县南部地区是其中代表性的成矿区带,该成矿带内铅锌矿床(点)主要集中分布于垭都—蟒洞断裂附近,在水潮堡—白马厂长约 15 km 的范围内,已发现有十余个铅锌矿床(点)(图 1)。特别是,近年来随着赫章猪拱塘超大型铅锌矿床的发现,该区铅锌矿地质勘探引起了新一轮的关注。关于该区铅锌矿床地质特征^[3-5]和成因类型^[6-8]等研究已经积累了一定研究成果,但整体地质地球化学研究程度相对较低,地质勘探缺乏实际成矿理论依据,地质找

矿标志依然不清,严重制约了该区铅锌地质勘探的深入。值得重视的是,越来越多的研究表明,黔西北地区铅锌成矿作用与垭都—紫云深大断裂关系密切^[9-11],垭都—蟒洞断层(以下均称为 F₁)是该深大断裂的重要组成部分,但区内铅锌矿床(点)与垭都—蟒洞断裂存在何种量化空间关系基本是空白。



1.上二叠统; 2.中上二叠统(峨嵋山玄武岩); 3. 中二叠统; 4.上石炭统; 5.下石炭统; 6.上泥盆统(融县组); 7.中泥盆统; 8.下泥盆统; 9.下志留统(韩家店组); 10.地层界线; 11.断层; 12.铅锌矿床

图 1 赫章县水潮堡—白马厂地质略图

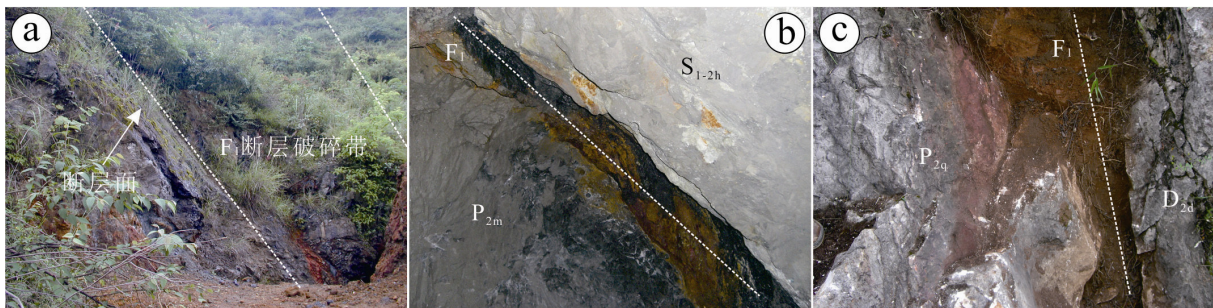
Fig. 1. Geological sketch for the Shuichaobao-Baibaichang area in Hezhang County, Guizhou Province, China.

事实上, 垭都—蟒洞断裂无论在地表还是钻孔及坑道内, 均易于识别, 开展区内铅锌矿化与该断裂的空间关系研究, 可以更精确地圈定找矿范围, 对确定探矿工程位置及设计深度都具有重要实际意义。

1 垭都—蟒洞断层主要地质特征

垭都—紫云断裂是贵州 4 级构造单元六盘水裂陷槽与黔北隆起区的分界, 也是晚古生代沉积岩相急剧相变地带。其南西侧为北西向褶皱带, 而北东侧褶皱轴向多为北东、南北, 两者大角度相交。已有的研究表明, 该断裂深部为隐伏深大断裂, 多期活动特征明显, 断裂运动始于加里东期(广西运动), 晚古生代同沉积活动南西侧下陷, 燕山运动时制约两侧发生不同的构造变形组合, 喜马拉雅期又有复活。该断裂在基底的浅部与六盘水北断裂(威宁—水城断裂)归并为一条断层, 控制着志留系与泥盆系的北侧沉积边界^[10]。

垭都—蟒洞断层是垭都—紫云深大断裂的重要组成部分, 该断层为北西走向, 为逆冲推覆断层, 分布于水潮堡—垭都—蟒洞 C 白马厂一带, 地表多处出露且清晰, 断层破碎带内断层角砾岩发育(图 2a), 主要的表现为不同时代地层直接接触, 如蔑匠冲地段上盘志留系中统韩家店组逆冲于下盘二叠系中统茅口组灰岩之上(图 2b), 具逆断层性质。该断层走向在 $285^{\circ}\sim 295^{\circ}$ 之间, 倾向南西, 倾角 $43^{\circ}\sim 65^{\circ}$, 倾角向深部逐渐变缓, 各地段破碎带宽度不均, 从几厘米至几米(图 2a~b)不等, 部分地段几乎不存在破碎带(图 2c)。从区内志留系、泥盆系和石炭系地层的一般厚度推断, 垭都—蟒洞断层最大断距约 2000 m, 是垭都—紫云深大断裂断距最大的地段。区内垭都—蟒洞断层断裂至少有 27 处被北东向或近南北向断裂错断, 主要以平移为主, 但断距均不大, 最大的如白岩头、草子坪、白矿山、白马厂等地, 其平移距离 250~300 m, 其余多在 100 m 以内。在垭都—罐子窑地段, 断裂北东盘(下盘)发育有明显的同轴向背斜, 断裂位于背斜轴附近, 形成断层-背斜组合式构造。该断裂的力学性质经历了张(扭)性(成矿期)→压(扭)性(成矿后)→右行扭性(成矿后)力学性质的转变过程^[11]。



a-罐子窑矿点 F_1 断层破碎带(断层破碎带内充填的断层角砾岩, 由岩石碎屑胶结的砂岩、泥岩、白云岩组成, 宽度十余米); b-蔑匠冲坑道中的 F_1 及上下两盘; c-筲箕湾 F_1 断层(仅几厘米宽); P_{2m} -中二叠统茅口组灰岩; S_{1-2h} -中志留统韩家店组泥岩; P_{2q} -中二叠统栖霞组灰岩; D_2d -中泥盆统独山组白云岩; F_1 -垭都—蟒洞断层

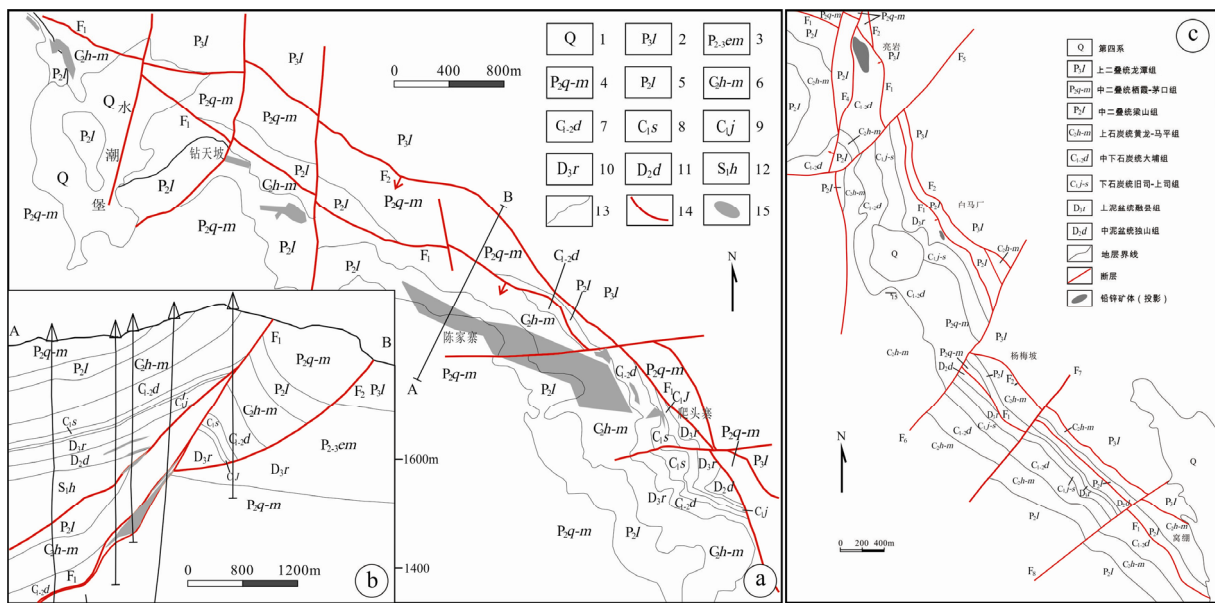
图 2 垭都—蟒洞断层地质产出特征

Fig. 2. Typical geological features of the Yadu-Mangdong fault.

2 代表性铅锌矿床地质特征

沿垭都—蟒洞断层, 目前已发现有猪拱塘超大型铅锌矿床 1 处, 垭都和筲箕湾中型矿床 2 处, 小型矿床及矿点共计 14 处。其中, (1) 猪拱塘铅锌矿是近年发现的超大型铅锌矿床^[5], 位于垭都—蟒洞断裂带北西段, 矿床出露地层主要有泥盆系独山组、融县组; 石炭系旧司组、上司组、大埔组、黄龙组及马平组; 二叠系梁山组、栖霞组、茅口组、峨眉山玄武岩组、龙潭组(图 3a~b)。以二叠系峨眉山玄武岩组($P_3\beta$)为界, 其下主要为碳酸盐岩夹细碎屑岩, 其上主要为细碎屑岩。矿区褶皱不发育, 断裂构造以北西向为主, 由 F_1 (垭都—蟒洞断层)和 F_2 断层组成, 南北向及近东西向断层次之。其中北西向断裂为区内主要控矿构造及容矿构造, 多被南北向与东西向横断层切割或错断, 而南北向与东西向断

裂为成矿后期构造。铅锌矿体受北西向断裂构造控制，在地表沿 F_1 及两侧多处见铅锌矿化，早期地表发现有水潮堡和爬天寨等 2 个铅锌矿点。值得注意的是该成矿带南段亮岩—窝棚地段与猪拱塘矿区具有相似的地质特征（图 3c）。（2）垭都铅锌矿床位于垭都—蟒洞断裂带中段，矿区地层岩性以古生界沉积岩为主，包括中下志留统韩家店群泥岩，下泥盆统丹林组砂岩，中泥盆统帮寨组砂泥页岩、独山组白云岩，下二叠统栖霞-茅口组石灰岩等。断裂构造发育，且与铅锌矿关系密切，其中垭都—蟒洞断层（ F_1 ）呈北西向贯穿整个矿区，该断层倾向南西，倾角 $50^\circ\sim 65^\circ$ ，其上盘为中下志留统韩家店群或中泥盆统独山组，下盘为中二叠统栖霞-茅口组地层，垂向断距约 2 km，是区内的导（容）矿构造。铅锌矿体受北西向 F_1 断层下盘层间破碎带或次级断层控制（图 4a），呈北西向产出，地表及浅部矿化普遍，民间采矿历史悠久，采出铅锌资源已达中型规模。（3）筲箕湾铅锌矿位于垭都—蟒洞断裂带南东段，矿床内地层倾向南南西，以垭都—蟒洞断层（ F_1 ）为界，上盘出露的地层有泥盆系帮寨组砂泥岩、独山组白云岩（中部夹砂岩泥岩）、融县组灰岩夹白云岩，石炭系旧司组泥页岩等，下盘主要为二叠系栖霞-茅口组为灰岩。矿区构造线为北西西向，主要包括 F_1 、 F_2 和 F_3 等断层，其走向和倾向上略有相交，形成叠瓦状构造。区内铅锌矿体主要受垭都—蟒洞断层（ F_1 ）控制（图 4b），地表曾见氧化矿，民采发现了深部硫化矿，矿床规模达到中型。



1. 第四系；2. 上二叠统龙潭组；3. 中上二叠统峨眉山玄武岩组；4. 中二叠统栖霞-茅口组；5. 中二叠统梁山组；6. 上石炭统黄龙-马平组；7. 下-中石炭统大埔组；8. 下石炭统上司组；9. 下石炭统旧司组；10. 上泥盆统融县组；11. 中泥盆统独山组；12. 下志留统韩家店组；13. 地层界线；14. 断层；15. 铅锌矿体（平面图为投影）

图 3 猪拱塘矿区地质简图 (a) 与剖面图 (b) (据何良伦等, 2019^[5]修编) 及亮岩—窝棚地段地质图 (c)
Fig. 3. Geological sketch (a) and geological section (b) for the Zhugongtang lead-zinc deposit (modified after He et al., 2019) and Geological sketch for the Liangyan-Wopeng block (c).

对比可知，该区铅锌矿床（点）具有相似的地质特征（表 1），铅锌矿体受构造的控制作用明显，尤其是断裂构造。矿体形态较复杂，多为透镜状、脉状或似层状。赋矿地层以二叠系为主，其次为石炭系和泥盆系，岩性为碳酸岩（灰岩和白云岩）。此外，矿石具低温矿物组合特征，主要金属矿物以闪锌矿为主，含少量方铅矿及黄铁矿。矿体与围岩界线分明，尤其是富厚矿体，矿与非矿在颜色上、结构构造上是截然不同的，二者之间界线明显，产状清楚。围岩蚀变较弱，包括白云石化、方解石化和黄铁矿化等。可见，本区铅锌矿床属于低温矿床，其工业类型为碳酸盐岩型铅锌矿床，总体上，其矿床地质特征和矿床分布规律与典型 MVT 铅锌矿床具相似性，但浅部断裂控矿因素明显，陡脉状产出特征突出，而与典型的 MVT 铅锌矿床又存在差异，属不典型的 MVT 矿床类型。我们认为，该区铅锌成

矿特征的特殊性, 可能与成矿期后燕山期、喜山期强烈构造挤压作用和造山带隆起作用密切相关, 导致形成区域性较发育的紧密褶皱和高角度逆冲断层。而由于赋矿层位为二叠纪栖霞-茅口期沉积形成相对较新, 剥蚀程度低, 在控矿或聚矿的逆冲断层较陡的前缘保留较好, 加之大部分地段工作程度低, 勘探深度浅, 故常见脉状产出矿体^[3-4]。

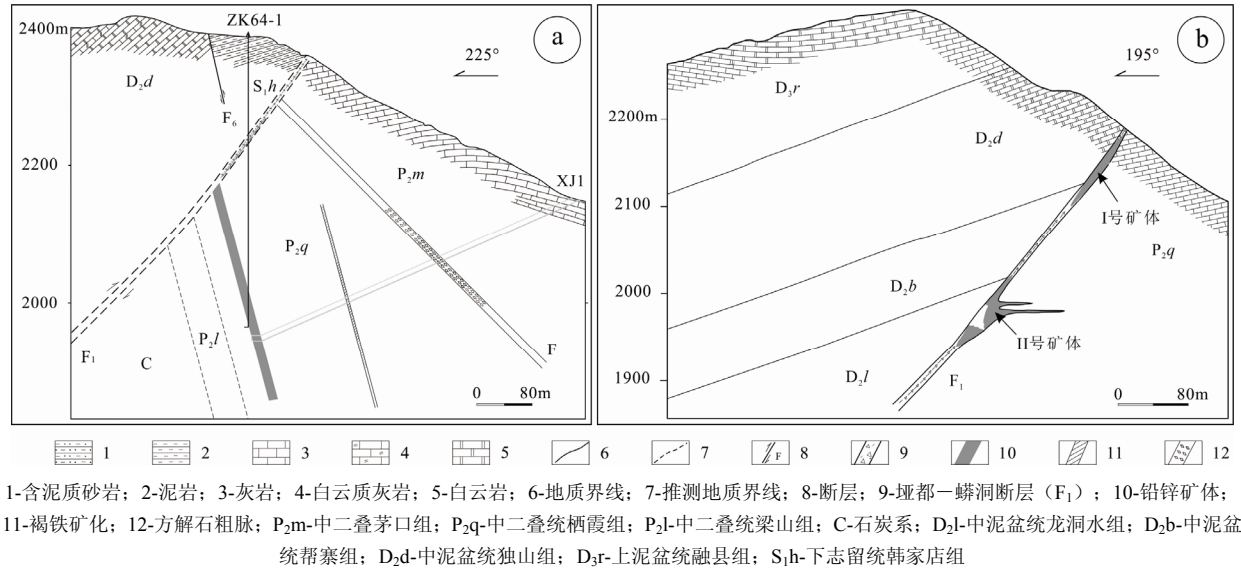


图4 垭都铅锌矿床64号(a)和筲箕湾铅锌矿床1号(b)勘探线剖面图
 Fig. 4. The profiles of the No.64 exploration line for the Yadu lead-zinc deposit (a) and the No.1 exploration line for the Xiaojiwan lead-zinc deposit (b).

表1 垭都—蟒洞断层所控主要矿床铅锌矿体产出地质特征表

Table 1. Geological characteristics of main lead-zinc orebodies of deposits controlled by the Yadu-Mangdong fault zone

地质条件	猪拱塘铅锌矿床 ^[7]	垭都铅锌矿床	筲箕湾铅锌矿床
赋矿地层岩性	主要为中二叠统栖霞组、茅口组灰岩, 次为上泥盆统融县组白云岩、白云质灰岩及下石炭统大埔组、上石炭统黄龙组白云岩	中二叠统栖霞组和茅口组灰岩,	中二叠统栖霞组灰岩
矿体形态	透镜状、似层状、脉状	似层状、脉状、透镜状	似层状、透镜状、脉状
矿体规模	探明 69 个矿体: 代表性的 6 个矿体长 170~1640 m, 延深 120~530 m, 厚数十厘米至数十米; 最大矿体长 1640 m, 倾向延深宽 120~530 m, 厚度 0.95~67.01 m、平均厚 11.01 m, 铅锌资源量 181.92 万吨	有记录的 15 个矿体: 代表性的 2 个矿体长 100~190 m, 宽(延深) 40~90 m, 厚度 1.61~2.89 m, 铅锌资源量 6.63 万吨。	4 个矿体: 长 50~200 m, 宽(延深) 30~135 m, 厚 1.5~21 m; 最大矿体长 200 m、延深 135 m、平均厚 7.11 m。
矿体矿石品位	Pb+Zn: X%~X%, 平均 9.94%	3.50%~41.39%, 平均 20.05%	Pb+Zn: 15.80%~28.57%, 平均 22.14%
围岩蚀变	以白云石化为主, 其次有方解石化、黄铁矿化、硅化、重晶石化和褐铁矿化	褐铁矿化、白云石化、方解石化	白云石化、方解石化、黄铁矿化
矿体埋深	300~950 m	几十米至 500 m	小于 200 m
矿石构造结构	主要为块状构造、浸染状构造、脉状构造以及条带状构造; 自形—半自形—它形粒状结构、交代残余结构、包含结构、压碎结构等	土状构造、块状构造、浸染状构造、放射状构造、网脉状构造等; 碎裂结构、他形板粒状结构和他形粒状结构等	块状、条带状、脉状、浸染状构造; 自形—它形晶粒状、溶蚀结构、交代残余结构
矿石自然类型	硫化矿为主, 少量混合矿	氧化为主, 少量硫化矿	氧化矿和硫化矿
矿物组合	闪锌矿、方铅矿和黄铁矿, 方解石、白云石, 少量石英、高岭石、赤铁矿、重晶石	菱锌矿、水锌矿、异极矿, 粘土矿物、铁质、方解石和石英等	氧化矿主要为白铅矿、铅钒、菱锌矿、异极矿、水锌矿、褐铁矿、针铁矿及粘土矿物等; 硫化矿为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿, 方解石、白云石、石英及少许重晶石等。

3 铅锌矿体产出与断裂构造的空间关系

如上所述, 垭都—蟒洞断裂 (F_1) 是该区最重要的控矿构造, 空间统计结果表明 (表 2), 区内铅锌矿体多产于垭都—蟒洞断裂 (F_1) 及其下盘, 如, 区内最大的铅锌矿床——猪拱塘, 其铅锌矿体受北西向断裂构造控制, 主要赋存于北西向 F_1 、 F_2 及隐伏次级断裂或层间破碎带内, 呈透镜状、似层状或脉状沿断层破碎带、层间碎裂带产出 (图 3b)。矿体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。目前矿区共发现 69 个铅锌矿体, 其中, 受 F_1 断层破碎带控制矿体 10 个, 受 F_1 下盘之 F_2 断层破碎带控制矿体 5 个, 而受 F_1 下盘其他隐伏次级断层或层间破碎带控制的矿体 33 个, 受 F_1 上盘次级断层控制的矿体 21 个。垭都矿床目前发现 15 个矿体, 其中规模较大的 I、II 号矿体均产于下盘层间破碎带中, 其资源量约占整个矿床的 50%。据统计, 该区铅锌矿体与 F_1 的垂直距离多在 200 m 范围内, 最远仅为 400 m (如垭都), 该区在该断层下盘 400 m 范围内应是今后地质勘探的重点区域。

表 2 赫章水潮堡—白马厂一带铅锌矿与垭都—蟒洞断裂 (F_1) 的空间关系统计表

Table 2. Statistical table of spatial relationship between the lead-zinc deposits from the Shuichaobao—Baibaichang area and the Yadu—Mangdong fault zone

矿床名称	已发现资源量/万吨	垭都—蟒洞断层在该地段的显现特征			矿体产出的构造部位	赋矿地层岩性	矿体与 F_1 垂直距离/m
		断层两盘时代相差最远的地层	推断断距/m	破碎带情况			
猪拱塘	320	中下志留统韩家店组/中二叠栖霞组	1600	断层破碎带宽 1~20 m, 由断层角砾、断层泥、碎裂岩及灰岩透镜体组成	F_1 断层为主, 上盘及少量	二叠系栖霞组灰岩、石炭系黄龙—马平组白云岩、泥盆系独山组白云岩	0~200
朱砂厂	1	中泥盆统邦寨组/中二叠茅口组	1500	断层破碎带宽 1~10 m, 由断层角砾、断层泥、碎裂岩及灰岩透镜体组成	全部为 F_1 上盘	石炭系大埔组白云岩	100~300
洗线沟	3	中泥盆统融县组/中二叠统栖霞组	1200	断层破碎带宽 1~2 m, 由断层泥、碎裂岩组	F_1 下盘为主, 断层内次之	二叠系栖霞组灰岩	0~200
羊角厂	5	中泥盆统邦寨组/中二叠统栖霞组	1500	断层破碎带宽 1~2 m, 由断层泥、碎裂岩组	全部为 F_1 下盘	二叠系栖霞组灰岩	<100
草子坪	4	中下志留统韩家店组/中二叠梁山组	1800	断层破碎带宽 1~2 m, 由断层泥、碎裂岩组	F_1 断层为主, 下盘少量	石炭系大埔组白云岩、黄龙组灰岩	0~200
垭都	20	早中志留统韩家店组/中二叠茅口组	1800	断层破碎带宽 0.3~2 m, 由断层泥、碎裂岩组成	F_1 下盘为主, 断层内少量	二叠系茅口组灰岩、二叠系栖霞组灰岩	0~400
蔑匠冲	1	早中志留统韩家店组/中二叠统茅口组	1800	断层破碎带宽 0.3~2 m, 由断层泥、碎裂岩组成	全部为 F_1 下盘	二叠系茅口组灰岩	0~70
蟒洞	6	中泥盆统独山组/中二叠统栖霞组	1300	断层破碎带宽 1~3 m, 由页片状炭质断层泥组成	F_1 断层为主, 上盘次之	泥盆系融县组白云岩、二叠系栖霞组灰岩	0~80
筲箕湾	12	中泥盆统融县组/中二叠统栖霞组	1200	几乎无破碎带, 沿断面见褐铁矿	F_1 断层及下盘	二叠系栖霞组灰岩	0~80
亮岩	8	上泥盆统融县组/上二叠龙潭组	1200	断层破碎带宽 1~5 m, 由断层角砾、断层泥、碎裂岩组成	F_1 断层为主, 上盘次之	石炭系大埔组白云岩	0~100

注: 已发现资源量含估计民采。

4 成矿规律及找矿方向

4.1 成矿规律

区内十余个铅锌矿床地质产出特征可以总结出以下成矿规律:

1) 垭都—蟒洞断层 (F_1) 是区内铅锌最重要的控矿构造, 其矿化多产于该断层的下盘, 其次为断层带内, 少量铅锌矿体赋存于该断层带上盘。据笔者 2000~2009 年连续 10 年在该地区工作调查的上百个民采老硐和后来多次考察该区铅锌矿开采情况, 以及对区内勘查资料的统计, 区内自水潮堡至白马厂, 沿垭都—蟒洞断层及两侧 500 m 范围采出和探获的铅锌矿近 400 万吨, 无论是资源量还是矿体个数, 产于 F_1 下盘的都在 70% 以上, 产于断层内的约 20%, 产于上盘的则小于 10%。

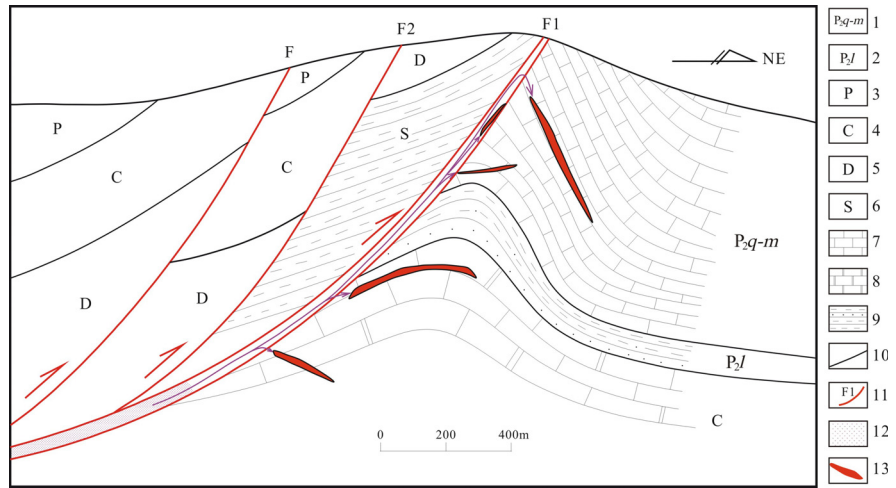
2) 铅锌矿体多产于在断层产状由陡变缓处、破碎带由窄变宽处以及旁侧次级断裂发育部位。如猪拱塘 I-1 矿体产于 F_1 断层内, 从矿体往上断层倾角 $50^\circ\sim 60^\circ$, 向下则变为 $30^\circ\sim 40^\circ$, 矿体产出部位破碎带厚度可宽达几十米 (图 3b); 垭都矿床在 64 号剖面 1960 m 标高穿过 I 号矿体往南西施工了 300 多米平巷未见到 F_1 断层, 表明 F_1 在此标高已经变缓。此外, 猪拱塘、羊角厂、草子坪、垭都等区内次级断裂均较发育, 而垭都—罐子窑地段, 断层与背斜明显且并列发育, 猪拱塘矿区也存在背斜。可见, 次级断裂和褶皱构造也控制了该区铅锌富集沉淀。

3) 铅锌的赋矿层位较多, 以二叠系栖霞组—茅口组灰岩为主, 其次为石炭系大埔组—马平组, 而泥盆系融县组中铅锌矿化相对较弱。此外, 矿体与围岩界线分明, 围岩蚀变普遍较弱, 具低温成矿特点。开采垭都 ZK64-1 钻孔发现的 I 号矿体 (氧化矿) 时, 曾经在坑道内施工距矿体 1 m 处停工研究, 怀疑钻孔见矿深度有误, 坑道中见不到任何迹象蚀变迹象; 筲箕湾 II 号矿体 (硫化矿) 顶底板几乎见不到黄铁矿, 仅有少量团块状方解石和白云石。然而这两处都是穿过围岩即是品位超过 20% 的矿体。总体而言, 区内其他地段铅锌矿体与围岩也基本都是突变关系, 很少有渐变的或见到过渡层, 且其蚀变极弱。

4) 矿体品位和厚度变化较大。相对于贵州其他地区的铅锌矿床 (如黔东地区铅锌矿床^[12-14]), 区内高品位矿体较多, 如猪拱塘 I-1 号矿体 Pb+Zn 平均品位 11.52%, 资源量达 181.92 万吨, 占了矿床资源量的三分之二; 垭都 I、II 号矿体 Pb+Zn 平均品位都在 20% 以上, 资源量超 10 万吨, 占矿床发现资源量的一半以上; 而筲箕湾 II 号矿体 Pb+Zn 平均品位也在 20% 以上, 约占矿床资源量的 70%; 此外, 羊角厂、草子平、蟒洞、亮岩等矿床 (点) 均有铅锌富矿石的产出。

4.2 断裂构造控矿机理

断裂构造是该区铅锌主要控矿构造, 这些断裂均属于逆冲推覆构造。正是这种推覆构造可能决定了区内铅锌矿体多位于主断裂下盘: 推覆构造在形成时, 下盘固定不动, 上盘推移, 下盘受上盘推压力的作用, 易形成张性节理, 而上盘 (中部及前端) 处于受推挤状态, 不易形成缝隙, 下盘的节理裂隙为矿液的沉淀提供了空间 (图 5)。此外, 该区大部分地段 F_1 断层上盘为志留系韩家店组泥岩或其他碎屑岩, 可能形成阻挡成矿流体的屏障, 而下盘的碳酸盐岩易溶解破碎, 从而形成容矿空间, 成为铅锌矿的有利成矿位置。在此基础上, 本文总结区内铅锌成矿可能的模式为: 来源于深部的流体或构造热液, 淋滤区域基底岩石中的成矿物质, 形成富含 Pb、Zn 等成矿元素的成矿流体; 成矿流体沿主干断裂向上运移, 受到峨眉玄武岩的或其他泥岩、页岩“遮挡”被迫折返, 向次级断裂或碳酸盐岩地层的层间破碎带运移和聚集; 成矿流体运移和聚集过程中, 与富含还原硫的流体混合, 在有利的空间, 成矿元素沉淀富集形成铅锌矿体。



1. 中二叠统栖霞-茅口组; 2. 中二叠统梁山组; 3. 二叠系; 4. 石炭系; 5. 泥盆系; 6. 志留系; 7. 石灰岩; 8. 白云岩; 9. 泥岩、砂岩; 10. 地层界线; 11. 断层; 12. 成矿热液; 13. 铅锌矿体

图 5 丫都铅锌矿床成矿模式示意图

Fig. 5. Schematic diagram of metallogenetic model for the Yadu lead-zinc deposit.

4.3 找矿预测

事实上, 黔西北地区铅锌地质勘探程度相对较低, 区内勘查深度普遍较浅, 除猪拱塘矿床外, 其他矿床 (地段) 仅有个别钻孔深度超过 800 m, 而猪拱塘矿床主矿体埋深在 1000 m 左右。黔西北是川

滇黔铅锌成矿域的重要组成部分,其赋矿层位众多,震旦系到二叠系所有碳酸岩地层均存在不同程度矿化,多层位赋矿是很多铅锌矿床的重要特征之一,如会泽^[15-16]、毛坪^[17]、金沙厂^[18]等矿床。如前所述,垭都—蟒洞断裂是一条深大断裂,其延深较大,多年的地质研究表明,铅锌富集成矿条件在该断裂深部依然存在,如:垭都仅发现了二叠系栖霞组灰岩中的铅锌矿体,其下伏石炭系地层也具有矿化显示;蔑匠冲的铅锌矿体赋存于二叠系茅口组上部,其下还有栖霞组和石炭系,其埋深都不大;箕箕湾现有矿体也是产于二叠系栖霞组地层,其下同样还有石炭系,石炭系之下是泥盆系,与之邻近的蟒洞地区,已发现有产于泥盆系的铅锌矿;区内其他多处地段都具备断层与赋矿地层同在的条件。可见,现有矿床(点)深、边部仍具有较好找矿前景,其找矿的范围应主要集中在 F_1 下盘400 m以内。

对比区内各地段地质构造情况,亮岩—窝棚地段与猪拱塘矿床相距约12 km,两者有着极其相似的地质特征(图3c):2个区域均有2条倾向南东近于平行的主要断裂,且相距200~400 m;2断层间出露地层均为二叠或石炭系地层,2断层外北东为二叠系龙潭组地层,南西为泥盆系和石炭系地层,地层倾向都为南西,都被北东向或南北向横断层错断,地表沿 F_1 都局部都见有铅锌矿。此外,白马厂附近(西侧)还有较强的遥感(羟基、碳酸根及铁离子吸收)异常带,类似异常在区内垭都和邻近猫猫厂矿床的400~600 m深度已发现有隐伏铅锌矿体,而垭都和猫猫厂都是中型铅锌矿床。据此,本研究认为,亮岩—窝棚地段是一个值得开展深部找矿探索的良好地段,有望找到中-大型铅锌矿床。

5 结 论

1) 垭都—蟒洞断裂带(F_1)黔西北水潮堡—白马厂一带铅锌最重要控矿构造,区内铅锌矿主要产于该断层下盘及其破碎带内,矿体与该断层垂距不超过400 m,0~200 m范围是最有利赋矿空间。

2) 区内铅锌矿体总体上呈现小而富的特点,矿体形态多为不规则状,延伸不稳定,找矿勘查难度大。现有矿床(点)深部与边部 F_1 断层下盘400 m范围内应是今后铅锌地质勘探重点区域。

3) 栖霞-茅口组碳酸岩地层是区内铅锌重要赋矿层位,但多层位赋矿特征在今后地质勘探中不应忽视。

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): 2252-2267.
- [2] Hu R Z, Fu S L, Huang Z L, et al. The giant South China Mesozoic low-temperature metallogenic domain: Reviews and a new geodynamic model[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 137: 9-34.
- [3] 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.
- [4] 金中国, 黄智龙. 黔西北铅锌矿床探矿因素及找矿模式[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 467-472.
- [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] Zhou J X, Huang Z L, Bao G P, et al. Sources and Thermo-Chemical Sulfate Reduction for Reduced Sulfur in the Hydrothermal Fluids, Southeastern SYG Pb-Zn Metallogenic Province, SW China [J]. *Journal of Earth Science*, 2013, 24(5): 759-771.
- [7] 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.
- [8] Wei C, Huang Z L, Yan Z F, et al. Trace Element Contents in Sphalerite from the Nayongzhi Zn-Pb Deposit, Northwestern Guizhou, China: Insights into Incorporation Mechanisms, Metallogenic Temperature and Ore Genesis [J]. *Minerals*, 2018, 8(11): 490.
- [9] 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.
- [10] 汪兴伟, 郭彤楼, 沃玉进, 等. 垭紫罗断裂带深部构造分段特征及构造变换作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 220-228.
- [11] 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.
- [12] Ye L, Cook N J, Liu T, 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.
- [13] 叶霖, 胡宇思, 杨松平, 等. 黔东成矿带铅锌成矿作用刍议[J]. 矿物学报, 2018, 38(6): 709-715.
- [14] 金少荣, 叶霖, 杨德智, 等. 贵州凯里-都匀地区铅锌矿化规律与找矿靶区[J]. 矿物学报, 2018, 38(6): 675-683.
- [15] 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 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的关系[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [16] Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. Geological features and origin of the Huize carbonate-hosted Zn-Pb(Ag) District, Yunnan, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31(1): 360-383.
- [17] Wei A, Xue C, Xiang K, et al. The ore-forming process of the Maoping Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Constraints from cathodoluminescence (CL) petrography of hydrothermal dolomite[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 70: 562-577.
- [18] 李高良, 乔丽梅, 潘金禄, 等. 云南永善金沙厂铅锌矿成矿特征及成因浅析[J]. 云南地质, 2014, 33(2): 157-162.