

文章编号: 1000-4734(2020)04-0367-09

黔西北铅锌矿床成矿岩性组合与构造控矿样式

何志威^{1,2}, 李泽琴², 陈军³, 张嘉玮⁴, 黄智龙^{3*}

(1. 西南能矿集团股份有限公司, 贵州 贵阳 550000; 2. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610000; 3. 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; 4. 贵州省地质矿产勘查开发局 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 随着黔西北地区铅锌矿成矿理论与地质勘查深度融合, 纳雍枝、猪拱塘等大型-超大型铅锌矿床相继被发现, 实现了该区找矿历史上最重大的突破, 揭示了该区巨大的找矿潜力。成矿岩性组合与构造控矿样式是铅锌矿体就位的基本要素, 亦是矿床学研究中根本的科学问题, 可为矿产预测提供最直接的证据。本文深入剖析了黔西北地区7个典型铅锌矿床的控矿岩性组合与构造样式, 厘定了2种控矿岩性组合和4种构造控矿样式, 分别是碳质页岩+碳酸盐岩+碳质页岩组合和碳质页岩+含碳质泥质碳酸盐岩组合, 张性断裂-背斜、断裂复合空间、逆断裂纵向羽状节理和平行次级断裂构造控矿样式。总结了“流体-构造组合导入-岩性组合圈闭”的成矿过程, 深化了矿体就位机制, 完善了矿床成矿模式。以期为该区成矿预测与深部找矿提供理论依据。

关键词: 铅锌多金属矿床; 岩性组合; 构造样式; 黔西北地区

中图分类号: P612; P613

文献标识码: A

doi: 10.16461/j.cnki.1000-4734.2020.40.018

第一作者: 何志威, 男, 1985年生, 在职博士生, 从事矿床学及成矿预测研究. E-mail: 414589747@qq.com

Metallogenic lithologic assemblages and structural ore-controlling styles of lead-zinc polymetallic deposits in the northwestern Guizhou Province, China

HE Zhi-wei^{1,2}, LI Ze-qin², CHEN Jun³, ZHANG Jia-wei⁴, HUANG Zhi-long^{3*}

(1. Southwest Energy Mining Group Co., LTD, Guiyang 550000, China; 2. School of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610000, China; 3. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China; 4. Guizhou Geological Survey, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 550081, China)

Abstract: With the deep integration of metallogenic theories and geological exploration of lead-zinc polymetallic deposits in the northwest Guizhou, several large and super-large lead-zinc deposits such as the Nayongzhi and Zhugongtang have been discovered subsequently in the area. The discovery of those deposits resulted in the most important breakthrough in the prospecting history of lead-zinc polymetallic deposits in the northwest Guizhou and revealed the great prospecting potential of Pb-Zn resources in the area. Metallogenic lithologic assemblages and structural ore-controlling styles are not only the basic factors for the emplaced lead-zinc polymetallic orebodies, but also the fundamental scientific issues for the study of ore deposits. They can be used as direct evidences for mineral Pb-Zn resources prediction. In this paper, we have deeply analyzed the ore-controlling lithologic assemblages and structural styles of seven typical lead-zinc deposits in the northwest Guizhou, determined two kinds of ore-controlling lithologic assemblages (carbonaceous shale + carbonate + carbonaceous shale; carbonaceous shale + carbonaceous argillaceous carbonate) and four kinds of structural

收稿日期: 2020-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: U1812402; 41430315); 贵州省科技计划项目(编号: 黔科合平台人才[2018]5626); 西南能矿集团股份有限公司青年科技创新基金项目

* 通讯作者, E-mail: huangzhilong@vip.gyig.ac.cn

ore-controlling styles ("extensional fault-anticline", "faulting composite space", "longitudinal pinnate joints of the reverse fault" and "parallel secondary fault"), summarized the metallogenic process of "the fluid-structure combined input and the lithologic assemblage entrapment", deeply understand the emplacement mechanism of lead-zinc polymetallic orebodies, and finally improved the metallogenic model of lead-zinc polymetallic deposits. This paper has provided a theoretical basis for predicting and prospecting Pb-Zn resources in depth in this area.

Keywords: lead-zinc polymetallic deposit; lithologic assemblage; structural style; Northwest Guizhou Province

赋存于沉积碳酸盐岩中的后生铅锌矿一直是地质学家关注和研究的热点^[1-8]。加拿大的 Pine Point 与 Monarch-Kicking Horse 矿床,北美中部地区的 Mississippi Valley 与 Tri-State 矿床,澳大利亚的 Lennard Shelf 与 Coxco 矿床和欧洲的 Silesia 与 Alpine 矿床等,为世界上典型的碳酸盐岩型铅锌矿床^[1-2,9-10]。该类铅锌矿床资源量占全世界铅锌资源量的 20%~27%^[11],具有容矿岩石为碳酸盐岩、成矿流体为高盐度中低温度的盆地卤水、矿物组合相对简单,成矿与大规模流体运移密切相关、与岩浆岩无直接关系等独特的地质特征,被认为是一种新的铅锌矿床类型,即经典的密西西比河谷型(Mississippi Valley-Type, MVT)铅锌矿床。我国川滇黔接壤铅锌矿集区许多矿床与 MVT 型铅锌矿床具有众多相似特征,普遍被认为是 MVT 型铅锌矿床^[12-15]。随着矿集区研究的不断深入及不同控矿类型的铅锌矿床逐步被发现,构造控矿模式被提出并逐步完善^[3,16],特别是“构造-岩性”控矿模式^[16-17]及“流体混合成矿”理论^[5-8]的提出,加快了矿集区的找矿进度,丰富了铅锌矿床的成矿理论,为滇东北会泽、毛坪和黔西北猪拱塘、纳雍枝等大型一超大型铅锌矿床的发现提供了理论支撑。

黔西北铅锌成矿带是川滇黔接壤铅锌矿集区的重要组成部分^[4,18],该带铅锌矿床(点)主要围绕 NW 向垭都—蟒硐断裂带、NW 向威宁—水城断裂带与 NE 向云沪河—银厂坡断裂带呈带状密集产出(图 1)。已发现并投产的有青山、杉树林、天桥、猫猫厂、蟒洞、垭都及亮岩等铅锌矿床,成为贵州省重要的铅锌生产基地^[18-20]。随着铅锌矿深部勘查工作的逐步开展,纳雍枝、猪拱塘、五里坪及洗线沟等铅锌矿床的深部均实现找矿突破,实现了黔西北铅锌矿找矿历史以来的最重大的突破。特别是猪拱塘超大型铅锌矿床的发现为黔西北铅锌矿的找矿提供了重要的信息,亦揭示了黔西北铅锌成矿带巨大的

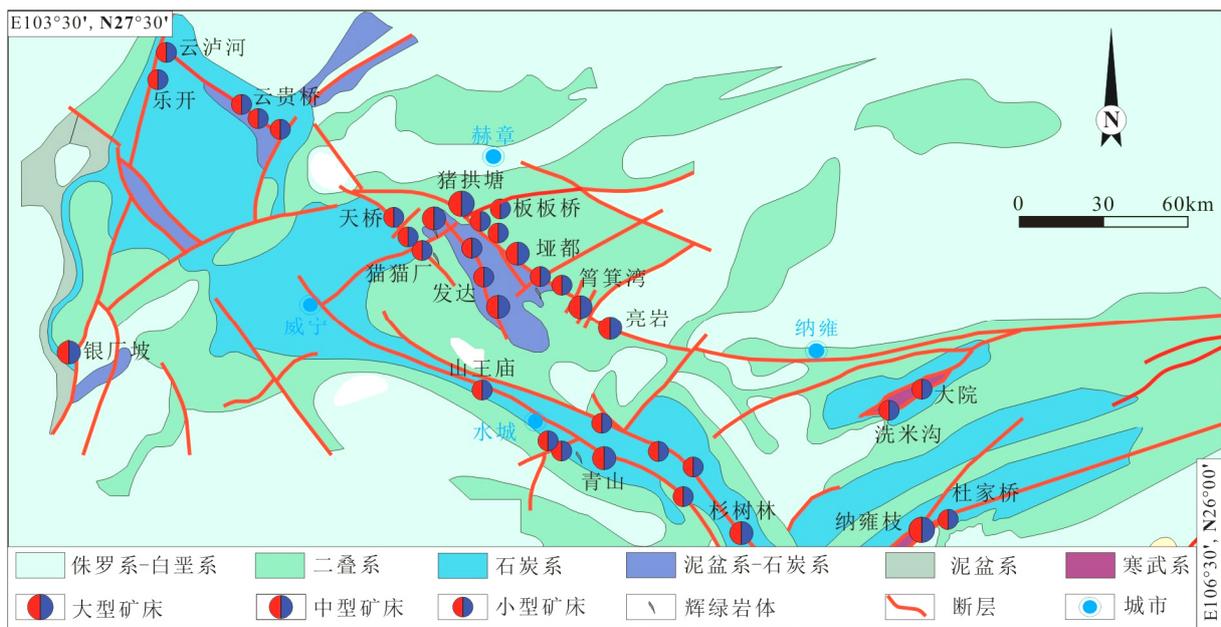


图 1 黔西北地区铅锌矿床(点)分布图(据 Zhou 等^[7])

Fig. 1. Distribution map for lead-zinc deposits in the Northwestern Guizhou (after Zhou et al.^[7]).

找矿潜力。本文基于黔西北铅锌矿成矿地质背景、成矿规律、成矿模式、物质来源、成矿年代及矿床成因等研究成果^[4,18,20-23], 重点剖析猪拱塘、天桥等矿床的赋存特征、控矿岩性组合、构造控矿样式, 系统总结矿体的就位机制, 以期为该类型铅锌矿的矿体预测提供依据。

1 地质背景

黔西北铅锌成矿带主要由垭都—蟒硐断裂带、威宁—水城断裂带及银厂坡—云沪河断裂带构成(图1)。垭都—蟒硐断裂带是滇黔桂裂谷的东边界, 亦是威水断陷盆地的东边界, 其分别和小江断裂带, 威宁—水城断裂带控制着滇黔桂裂谷及威水断陷盆地的沉积作用、岩浆作用及成矿作用。研究发现该断裂构造为一深切基底的同生沉积构造, 是深部热液流体和成矿物质运输的通道, 是矿床形成、改造、破坏、保存的重要因素^[19]。威宁—水城断裂带主要由威水背斜和水城断层等组成, 背斜轴部与一系列多期活动的高角度逆断层构成主要的控矿组合。银厂坡—云沪河断裂带位于昭通—曲靖隐伏深断裂带东侧, 其北东端与垭都—蟒硐断裂带交汇于云炉河, 南西端延伸至云南会泽的麒麟厂、矿山厂, 亦具典型的多期活动特征。该3条断裂带分别控制着不同的成矿区带, 如垭都—蟒硐断裂带控制着云贵桥、猪拱塘、朱砂厂、草子坪、天桥、垭都、蟒硐、亮岩等矿床(点); 威宁—水城断裂带控制着杉树林、青山、白马硐、银矿山等矿床(点); 银厂坡—云沪河断裂带控制着银厂坡、云沪河坝、昊星等矿床(点)(图1)。

2 矿化特征

黔西北铅锌成矿带矿体可顺层呈似层状、板状产出, 亦可穿层呈脉状、柱状、筒状、透镜体状产出, 还可受古岩溶控制呈不规则状产出。矿体形态变化复杂, 膨胀收缩及围岩角砾现象比较普遍, 边部常因分支并逐渐尖灭而呈锯齿状, 矿体厚度及规模变化较大。矿化作用以交代、充填、浸染作用为主, 硫化物完全交代碳酸盐岩, 形成致密块状矿石, 硫化物选择性交代碳酸盐岩或充填于裂隙中, 形成条带状、网脉状、角砾状矿石, 硫化物呈颗粒或晶簇浸染在碳酸盐岩的晶粒之间或孔洞中形成浸染状矿石。矿石矿物以闪锌矿、方铅矿和黄铁矿为主, 脉石矿物主要为方解石、次为白云石、石英等, 一般不含黄铜矿、斑铜矿、自然铜等, 在个别矿床中萤石、重晶石较为发育^[11, 24-25], 如燕子洞铅锌矿床含有丰富的萤石, 大寨铅锌矿床发育重晶石脉。此外, 黔西北铅锌矿床通常富集 Ag、Cd、Ge、Ga、Mo、In 等稀散元素, 但这些元素的含量比较低, 仅个别矿床的含量达到工业指标, 如银厂坡铅锌矿的银矿达到中型规模, 五里坪铅锌矿床富含丰富的稀有稀散元素, 被地质学家认为是黔西北地区稀有稀散元素宝库^[11]。矿物主要具有粒状、板状、包含、交代、共边、脉状穿插、格状、放射状等结构。围岩蚀变较弱, 主要为方解石化和白云岩化, 次为硅化与粘土岩化。

3 矿床地质特征

1) 猪拱塘铅锌矿床: 位于 NW 向垭都—蟒硐断裂与 NEE 向独山断裂的交汇部位, 主要控矿构造为垭都—蟒硐断裂及其次级断裂, 该断裂上盘出露志留系-石炭系地层, 下盘主要出露二叠系地层。矿体主要赋存于泥盆系望城坡—尧梭组与二叠系栖霞—茅口组, 赋矿岩性分别为白云岩与灰岩。主要矿体呈似层状产出于逆断层(F_1 、 F_2)与张断层(F_4)的交汇部位; 次要矿体主要呈透镜体状、似层状产出于张断层(F_4)影响的层间破碎带(图2B)。图2C显示含矿碳酸盐岩附近广泛发育二叠系梁山组碳质页岩。

2) 板板桥铅锌矿床: 位于 NEE 向独山断裂南部的独山背斜, 成矿流体经独山断裂导入独山背斜轴部的 SN 向高角度正断层, 并最终在独山背斜轴部层间破碎带成矿(图3A, B)。矿体主要赋存于独山背斜轴部的石炭系旧司组至上司组的泥灰岩, 上覆岩性为石炭系黄龙—马坪组灰岩与二叠系梁山组含煤岩系, 下伏岩性为石炭系祥摆组含煤岩系(图3C)。

3) 天桥铅锌矿床: 位于 NW 向垭都蟒硐断裂的次级断裂与 NE 向耗子硐—猫猫厂断裂的结合部位, 同时亦是天桥背斜的倾伏端。垭都—蟒硐断裂次级断裂为主要导矿构造, 天桥背斜形成的层间破碎带为主要的容矿构造 (图 3D, E)。矿体主要赋存于石炭系旧司组至马坪组的灰岩/白云质灰岩中, 上覆岩性为二叠系梁山组含煤岩系, 下伏岩性为石炭系祥摆组含煤岩系, 此套含煤岩系+灰岩/白云质灰岩+含煤岩系的特殊岩性组合形成了一种典型的流体圈闭空间 (图 3F)。

4) 猫猫厂铅锌矿床: 位于 NW 向垭都蟒硐断裂的次级断裂 (发达断裂) 与 NE 向耗子硐—猫猫厂断裂的结合部位。矿体主要以脉状和似层状分别赋存于断裂及层间破碎带 (图 4A, B)。含矿岩性为石炭系大埔组至黄龙组的灰岩, 上覆岩性为石炭系旧司组碳质页岩, 下伏岩性为石炭系上司组含碳质泥质灰岩 (图 4C)。

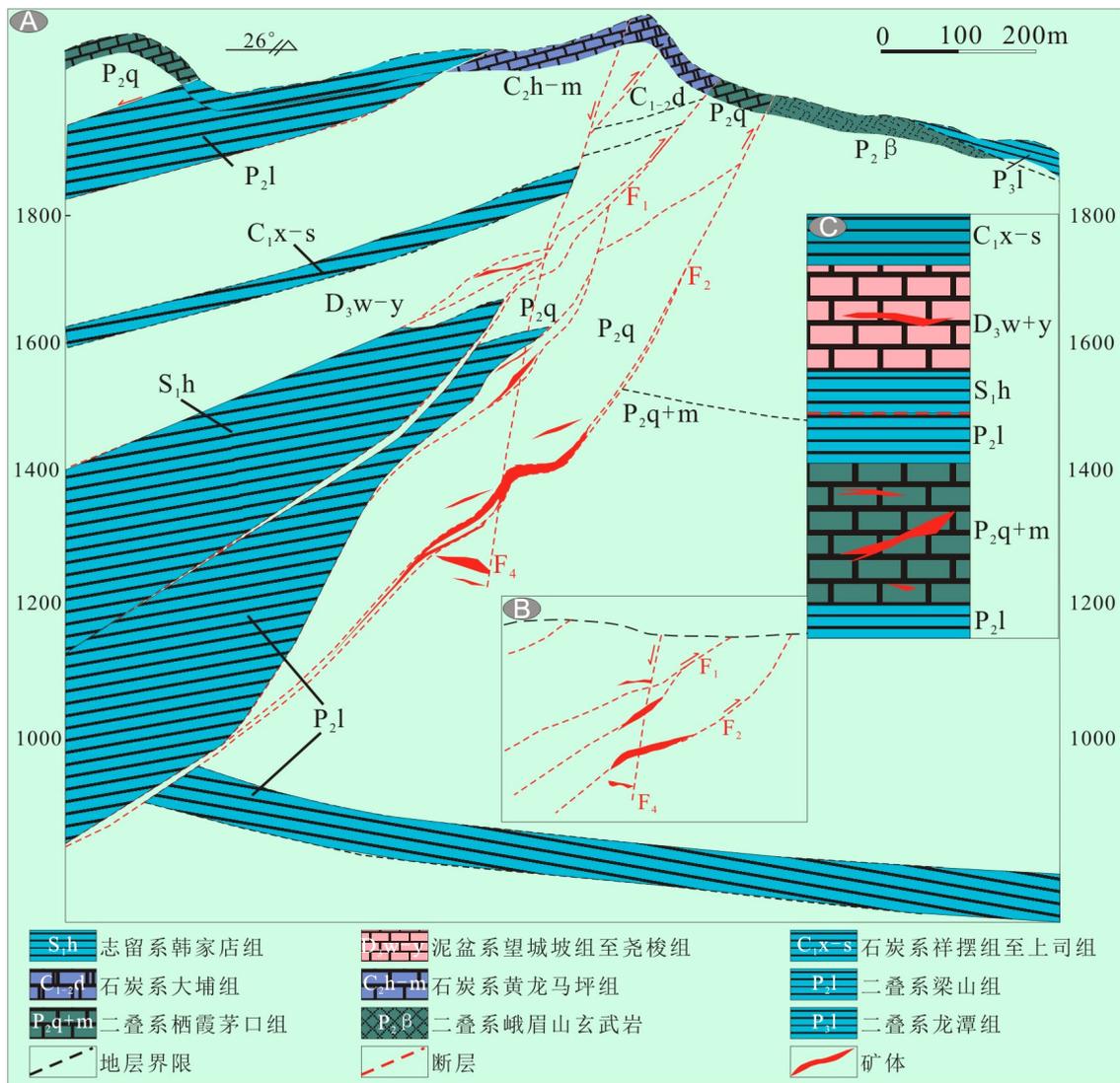


图 2 黔西北地区猪拱塘铅锌矿床控矿岩性组合特征

Fig. 2. Ore-controlling lithologic assemblage characteristics of the Zhugongtang lead-zinc deposit in the northwestern Guizhou.

5) 亮岩铅锌矿床: 位于垭都蟒硐断裂与一系列 NE 向断裂的结合部位。矿体主要呈大脉状赋存于垭都蟒硐断裂及其次级断裂 (图 4D, E)。含矿岩性为石炭系大埔组的白云质灰岩, 上覆岩性为二叠系梁山组含煤岩系, 下伏岩性为二叠系龙潭组含煤岩系 (图 4F)。

6) 纳雍枝铅锌矿床: 位于五指山矿集区, 构造主要由 NE 向的五指山背斜和 NE、NW 及近于 NWW 向的断裂组成。主要导矿构造为五指山背斜核部的逆断层, 容矿构造为背斜作用形成的层间破碎带 (图

5A, B)。矿体主要呈层状、似层状、脉状及透镜状产于寒武系清虚洞组的层间裂隙及断层破碎带的白云岩中。上覆岩性为石炭系祥摆组含煤岩系, 下伏岩性为寒武系金顶山组页岩(图 5C)。

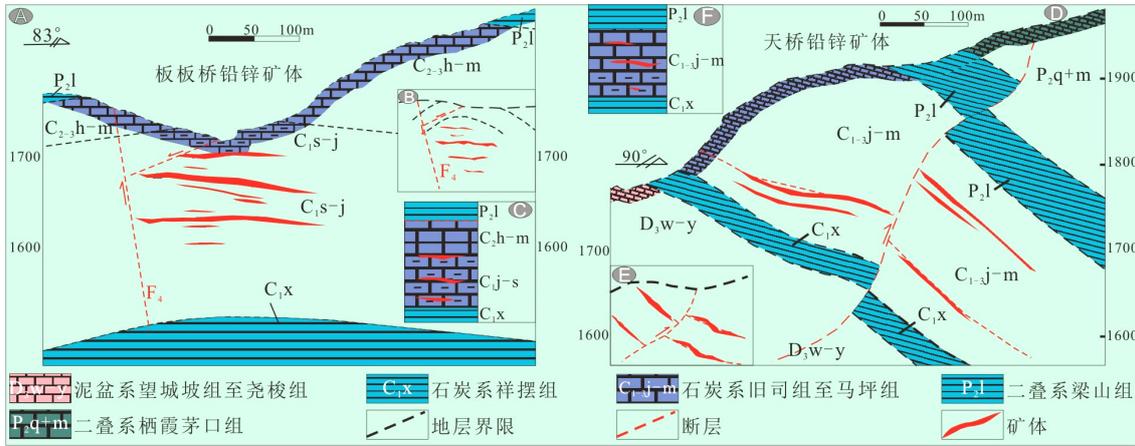


图3 黔西北地区板板桥—天桥铅锌矿床控矿岩性组合特征

Fig. 3. Ore-controlling lithologic assemblage characteristics of the Banqiao and Tianqiao lead-zinc deposits in the northwestern Guizhou.

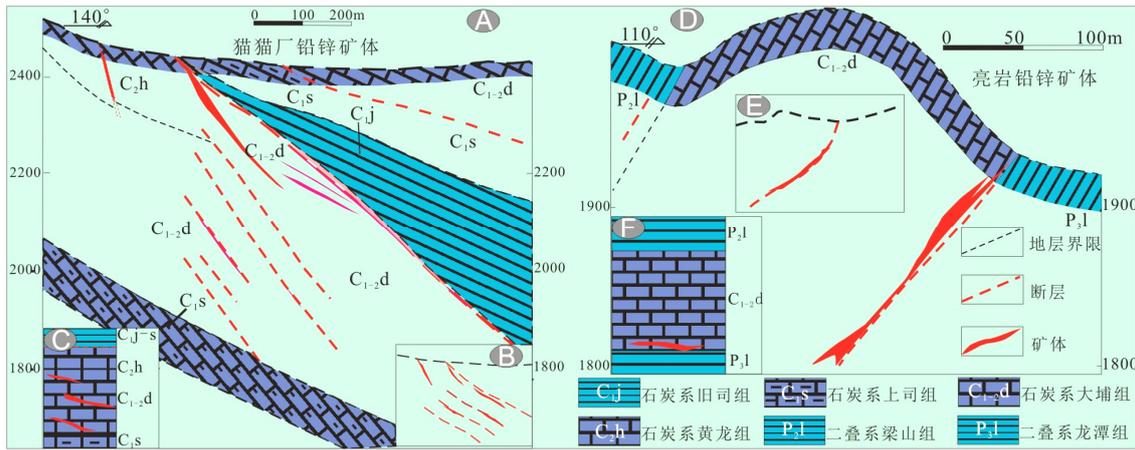


图4 黔西北地区猫猫厂—亮岩铅锌矿床控矿岩性组合特征

Fig. 4. Ore-controlling lithologic assemblage characteristics of the Maomaochang—Liangyan lead-zinc deposits in the northwestern Guizhou.

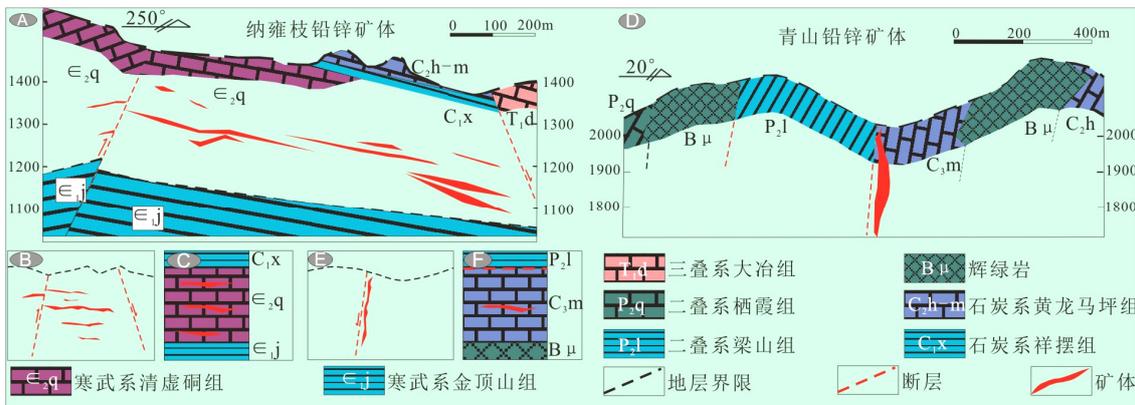


图5 黔西北地区纳雍枝—青山铅锌矿床控矿岩性组合特征

Fig. 5. Ore-controlling lithologic assemblage characteristics of the Nayongzhi and Qingshan lead-zinc deposit in northwestern Guizhou.

7) 青山铅锌矿床: 位于威水背斜的南西翼(陡翼), 矿体主要产于背斜挤压构造带, 并受该构造带中的逆冲断层、次级褶皱和层间滑脱构造控制, 呈似层状、脉状、囊状和透镜状产出(图 5D, E)。主要容矿围岩为石炭系马坪组灰岩, 上覆岩性为二叠系梁山组含煤岩系, 下伏岩性为辉绿岩体(图 5F)。

4 讨 论

4.1 控矿岩性组合

赋矿岩石作为矿体的主要载体一直以来都是成矿环境、就位机制的重要研究对象。滇黔接壤铅锌矿集区矿体普遍具有“一矿多层”的特点, 含矿岩性主要有白云岩、灰岩、白云质灰岩、含碳质泥质灰岩等碳酸盐岩, 从震旦系至二叠系均有矿体分布。黔西北垭都铅锌矿体赋存于二叠系与石炭系碳酸盐岩中, 猪拱塘铅锌矿体赋存于二叠系与泥盆系碳酸盐岩中, 纳雍枝铅锌矿体赋存于寒武系与震旦系碳酸盐岩中, 滇东北会泽与毛坪铅锌矿体赋存于泥盆系与石炭系碳酸盐岩中, 这与 MVT 型铅锌矿含矿围岩通常为白云岩, 少数情况下为灰岩^[11]的特征存在一定差别。因此, 仅通过单一地层与岩性来研究铅锌矿的就位机制难度较大, 而岩性组合的研究更具有现实意义。

铅锌矿体无论赋存于寒武系至二叠系中的哪一个时期, 虽然矿体没有赋存于碳质页岩(含煤岩系)中, 但碳质页岩(含煤岩系)广泛的分布在矿体周围(图 2~5), 且普遍具有褪色及碳质(有机质)消耗的现象。张长青等^[11]在研究密西西比 MVT 型铅锌矿床时提出含矿岩性存在“下部透水层”与“上部隔档层(泥岩、页岩)”的结构, 该结构对矿床的形成起着重要的作用, 同时, 他还认为白云岩的高孔隙度或渗透率是白云岩成为主要含矿岩性的原因, 但未阐述碳质页岩在成矿过程中的作用。Zhou 等^[7]认为碳质页岩(含煤岩系)在铅锌矿的成矿作用中主要起到还原剂的作用, 其有力的推动了硫酸盐的 TSR 作用。Wu 等^[26]在研究西秦岭地区造山型金矿床成矿过程中发现, 碳质广泛参与了金属的成矿过程, 在金属的迁移与卸载沉淀过程中起到了至关重要的作用。

黔西北铅锌成矿带的赋矿碳酸盐岩与附近碳质页岩(含煤岩系)存在着特殊的组合方式。猪拱塘铅锌矿床的主矿体赋存于二叠系栖霞一茅口组灰岩, 其上覆下伏岩性均为二叠系梁山组含煤岩系; 次要矿体赋存于泥盆系望城坡组一尧梭组白云岩, 其上覆下伏岩性分别为石炭系祥摆组含煤岩系与志留系韩家店组碳质页岩(图 2C)。板板桥铅锌矿体赋存于石炭系旧司一上司组含碳质泥质灰岩, 其上覆下伏岩性分别为二叠系梁山组含煤岩系与石炭系祥摆组含煤岩系(图 3C)。天桥铅锌矿体赋存于石炭系旧司组至马坪组灰岩, 白云质灰岩, 其上覆下伏岩性分别为二叠系梁山组含煤岩系与石炭系祥摆组含煤岩系(图 3F)。作者通过系统总结发现含矿岩性与上覆下伏岩性组成“碳质页岩(含煤岩系)+碳酸盐岩+碳质页岩(含煤岩系)”的特殊封闭组合, 组合中碳酸盐岩因具有较好的溶蚀性、较大的孔隙度及较多的裂隙等特征, 主要起到容矿的作用, 碳质页岩因具有较好的密闭性, 可以封存海水, 层间水、地下水等富含硫酸盐的水体系, 此外, 其丰富的碳质有机质, 更可为硫酸盐的 TSR 作用提供还原剂。该岩性组合为铅锌等金属流体的卸载成矿提供了最佳的场所, 在铅锌矿体的就位机制中起到了决定性的作用。区域上除了以上铅锌矿床外, 亮岩(图 4F)、纳雍枝(图 5C)、青山(图 5F)等矿床亦具有类似的岩性组合特征。

此外, 研究还发现, 黔西北铅锌矿特殊的控矿岩性组合除了上述的“碳质页岩(含煤岩系)+碳酸盐岩+碳质页岩(含煤岩系)”外, 还存在“碳质页岩(含煤岩系)+含碳质泥质碳酸盐岩”的岩性组合, 如猫猫厂铅锌矿体赋存于石炭系大埔组白云岩与黄龙组灰岩中, 其上下岩性分别为石炭系旧司组碳质页岩与石炭系上司组含碳质泥质灰岩(图 4C)。此类岩性组合与前述的控矿岩性组合有一定的差异, 但各岩性在成矿过程中发挥的作用基本类似。

最新研究发现黔西北铅锌矿的成矿作用为两种流体混合成矿, 起源于基底的富含金属元素的酸性流体, 被深大断裂导入上覆沉积地层特殊构造部位, 与地层中的富含硫酸盐的碱性流体混合, 导致硫

酸盐发生热化学反应 (TSR) 生成大量 S^{2-} , 与金属流体中的 Pb、Zn、Fe 等金属离子结合成矿 (另文讨论), 表明硫酸盐的 TSR 作用是铅锌矿成矿的重要环节, 而赋矿碳酸盐岩上下的碳质页岩 (含煤岩系) 提供了 TSR 作用所需的大量还原剂。同时, 基底含矿流体被导入上覆碳酸盐岩地层中时, 碳质页岩 (含煤岩系) 起到了良好的圈闭作用, 是含矿流体不能外泄就地反应成矿的主要因素 (图 6A, B, C)。

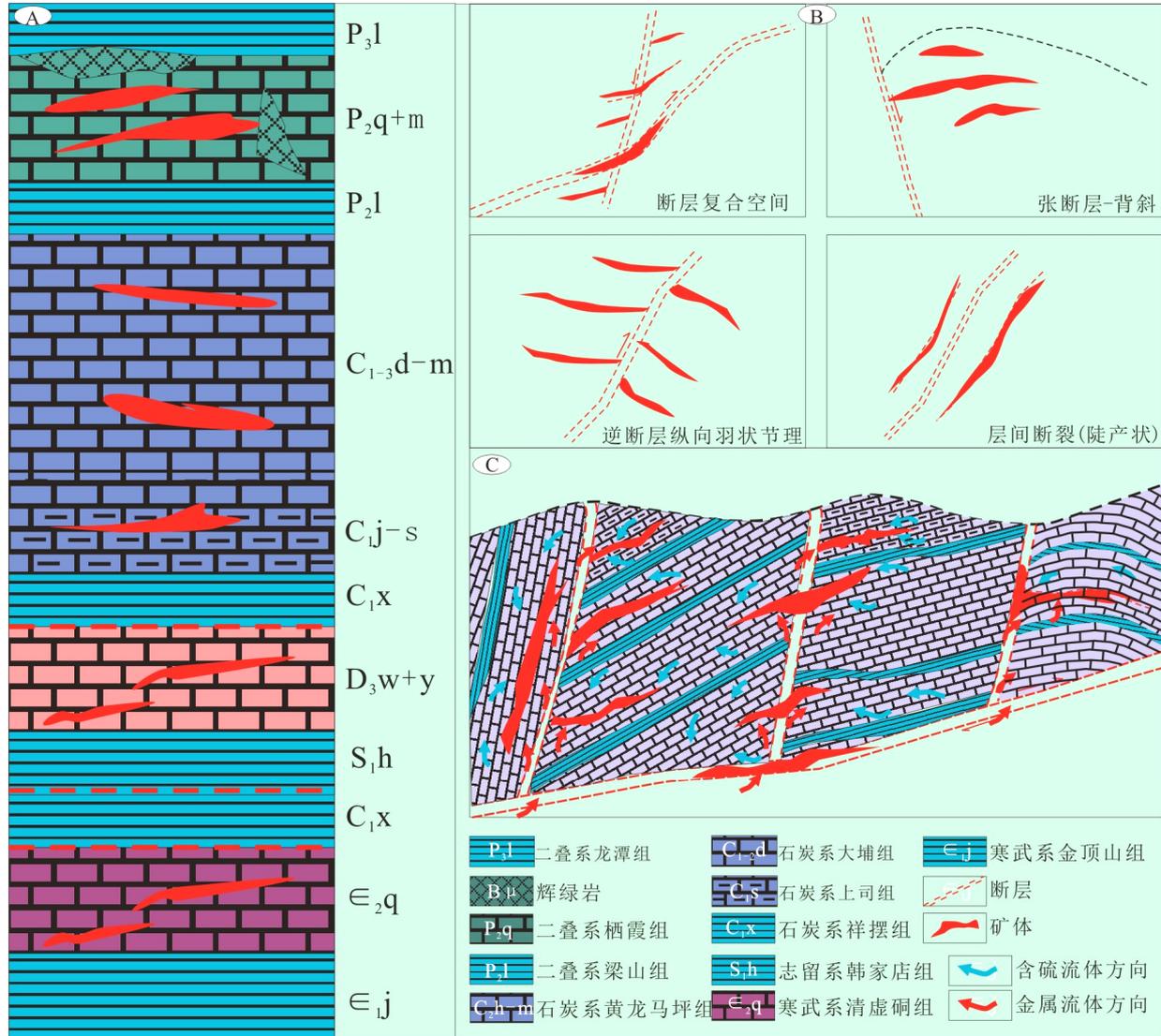


图 6 A. 黔西北铅锌矿控矿岩性组合特征简图; B. 黔西北铅锌矿构造控矿模式; C. 黔西北铅锌矿流体-岩性组合-构造控矿模式

Fig. 6. A schematic column of characteristic lithologic assemblages for lead-zinc deposits in the northwestern Guizhou (A); Structural ore-controlling styles for lead-zinc deposits in the northwestern Guizhou (B); C. A schematic model for the fluid-lithologic assemblage-structure controlled metallogeny of lead-zinc deposits in the northwestern Guizhou.

4.2 构造控矿样式

黔西北铅锌矿的控矿构造样式多种多样, 而且分级控矿的特征较为明显^[27]。垭都—麟洞断裂, 威宁—水城断裂, 云沪河—银厂坡断裂为区域性的导矿构造, 即成矿流体的运移通道, 其直接控制了矿集区中成矿带的展布特征, 同向或异向的次级断裂即为成矿亚带或矿田的主要控矿构造, 再次一级断裂、层间破碎带、背斜虚脱空间为矿体的直接赋存空间。控矿构造样式的研究有利于深部矿体的预测, 可为矿体的定位研究提供依据。

研究发现,不同的构造组合样式控制不同形态的矿体,且矿石的组合类型具有明显的分带性。矿体主要赋存于层间断裂(破碎带),中心矿体为金属硫化物与碳酸盐岩发生完全交代反应,形成似层状矿体,致密块状矿石,次边缘矿体是金属硫化物与盐酸盐岩发生选择性交代或以胶结物的形式充填于角砾岩与裂隙中,形成条带状、网脉状矿体,角砾状、网脉状矿石,边缘矿体是金属硫化物以颗粒或晶簇的形式浸染于碳酸盐岩颗粒之间或孔洞之中,形成浸染状矿石。少量矿体赋存于断裂裂隙中,呈陡脉状产出或受古溶洞控制呈不规则状产出^[1],主要发育角砾状矿石。

黔西北铅锌矿体主要控矿构造组合为:1)“张性断裂-背斜”,即张性断裂将含矿流体运移至背斜核部的层间虚脱带成矿,通常形成多层矿体,矿体的规模主要取决于背斜的紧闭程度,一般宽缓的背斜层间破碎空间有限,所形成矿体规模不大(垭都铅锌矿体);紧闭背斜由于岩石变形较为强烈,形成的空间也较大,普遍能形成规模较大的矿体,特别是陡产状的地层经过背斜的挤压破碎,能在倾斜方向(纵向)上形成较大的矿体(毛坪铅锌矿体);2)“断层复合空间”,逆冲推覆构造普遍伴随强烈的挤压作用,导致断层上下盘岩石变形或形成裂隙,特别是上盘地层,高角度张性断裂与逆冲推覆断裂及其形成的层间裂隙沟通,含矿流体被张性断裂导入裂隙,便能卸载成矿,裂隙破碎空间越大,矿体规模越大(猪拱塘超大型铅锌矿体);3)“逆断裂纵向羽状节理”,逆冲断裂在挤压推覆过程中,能在不同高程形成一系列层间裂隙,裂隙方向、规模等基本一致,含矿流体随构造进入裂隙空间即形成一系列垂向羽状矿体,该模式通常具有“一矿多层”的特点(天桥铅锌矿体);4)“平行次级断裂”深大断裂由于系统较为开放,成矿流体随着压力释放的空间逃逸,相反不能形成有规模的矿体,而与这些断裂平行的同期次级断裂,因为规模小,容易形成圈闭空间,反而易于形成规模矿体(青山铅锌矿体,亮岩铅锌矿体)。“张性断裂-背斜”“断层复合空间”“逆断裂纵向羽状节理”3种构造样式通常形成似层矿体。而“平行次级断裂”通常形成陡脉状矿体(图6B)。

5 结 论

岩性组合与构造组合都是单一的控矿因素,而矿体的形成是多种成矿作用共同作用的结果,普遍受多种因素控制。本文系统剖析了黔西北7个铅锌矿床的控矿岩性组合及控矿构造组合,取得如下结论:

1)碳酸盐岩虽然是黔西北铅锌矿的主要赋矿围岩,但不是主要的控矿因素,“碳质页岩(含煤岩系)+含碳质泥质碳酸盐岩”及“碳质页岩(含煤岩系)+碳酸盐岩+碳质页岩(含煤岩系)”的岩性组合是含矿流体卸载成矿的主要空间,亦是必要条件。

2)黔西北铅锌矿体主要控矿构造组合多样,“张性断裂-背斜”“断层复合空间”“逆断裂纵向羽状节理”等构造样式通常形成似层状矿体,“平行次级断裂”通常形成陡脉状矿体。

3)“流体-构造组合导入-岩性组合圈闭”是黔西北铅锌矿体的就位机制。即基底含矿流体被深大断裂导入上覆地层中,经各种构造组合分配在特殊的圈闭岩性组合中发生硫酸盐的TSR反应,含矿流体卸载成矿。岩性组合与构造组合是成矿作用的主要因素。

参 考 文 献:

- [1] Leach D L, Bradley D C, Huston D L, et al. Sediment-hosted Lead-Zinc-Deposits in Earth History[J]. *Economic Geology*, 2010, 105: 593-625.
- [2] Bradley D C, Leach D L. Tectonic controls of Mississippi Valley-Type lead-zinc mineralization in orogenic forelands[J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38(6): 652-667.
- [3] 韩润生, 刘从强, 黄智龙, 等. 论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J]. *矿物学报*, 2001, 21(4): 674-680.
- [4] 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.
- [5] Zhou J X, Huang Z L, Zhou M F, et al. Zinc, sulfur and lead isotopic variations in carbonate-hosted Pb-Zn sulfide deposits, southwest China[J]. *Ore*

- Geology Reviews, 2004, 58: 41-54.
- [6] Zhou J X, Huang Z L, Lv Z C, et al. Geology, isotope geochemistry and ore genesis of the Shanshulin carbonate-hosted Pb-Zn deposit, southwest China[J]. Ore Geology Reviews. 2004b, 63: 209-225.
- [7] Zhou J X, Xiang Z Z, Zhou M F, 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. 2018a, 154: 280-315.
- [8] Zhou J X, Luo K, Wang X C, et al. Ore genesis of the Fule Pb-Zn deposit and its relationship with the Emeishan Large Igneous Province: Evidence from mineralogy, bulk C-O-S and in situ S-Pb isotopes[J]. Gondwana Research. 2018b, 54: 161-179.
- [9] Leach D L, Sangster D F, Kelley K D, et al. Sediment hosted lead-zinc deposits: A global perspective [C]. Economic Geology, 2005, 100: 561-607.
- [10] Leach D L, Bradley, D, Lewchuk M T, 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.
- [11] 张长青, 余金杰, 毛景文, 等. 密西西比型 (MVT) 铅锌矿床研究进展[J]. 矿床地质, 2009, 28(2): 195-210.
- [12] Li Z L, Ye L, Hu Y S. Geological significance of nickeliferous minerals in the Fule Pb-Zn Deposit, Yunnan Province, China[J]. Acta Geochimica, 2018, 37(5): 684-690.
- [13] Xiong S F, Gong Y J, Jiang S Y, et al. Ore genesis of the Wusihe carbonate-hosted Zn-Pb deposit in the Dadu River Valley district, Yangtze Block, SW China: evidence from ore geology, S-Pb isotopes, and sphalerite Rb-Sr dating[J]. Mineralium Deposita, 2018, 53: 967-979.
- [14] Zhu C W, Wen H J, Zhang Y X, et al. Cadmium isotope fractionation in the Fule Mississippi Valley-type deposit, Southwest China[J]. Mineralium Deposita, 2017, 52(5): 675-686.
- [15] 吴越, 张长青, 田广. 四川跑马铅锌矿萤石稀土元素地球化学特征与指示意义[J]. 矿物学报, 2013, 33 (3) : 295-301.
- [16] 韩润生, 王峰, 胡煜昭, 等. 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[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38 (4) : 758-771.
- [17] 韩润生, 吴鹏, 王锋, 等. 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[J]. 大地构造与成矿学, 2019, 43(2): 246-257.
- [18] 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.
- [19] 罗卫, 孔令, 金中国, 等. 黔西北地区铅锌矿床控矿构造与成矿[J]. 矿产与地质, 2010, 24(1): 34-43.
- [20] Zhou J X, Huang Z L, Zhou M, et al. 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[J]. Ore Geology Reviews, 2013, 53: 77-92.
- [21] 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.
- [22] Hu R Z, Fu S, Huang Y, 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.
- [23] Hu R Z, Chen W T, Xu D R, et al. Reviews and new metallogenic models of mineral deposits in South China: An introduction[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2017, 137: 1-8.
- [24] Alldrick D, Sangster D, Fonseca A. Mississippi Valley-type (MVT) Pb-Zn. Yukon Mineral Deposits Profiles, YGS Open File [EB]. http://geology.yk.net/met/allogeny/mineral_deposit_profiles/e12_mississippi_valley-type_Pb-Zn.pdf. 2005: 1-8.
- [25] Paradis S, Hannigan P, Dewing K. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits (MVT) [EB]. http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/synth_dep/mvt/indexe.php. 2007: 1-15.
- [26] Wu Y F, Evans K, Fisher L.A, et al. Distribution of trace elements between carbonaceous matter and sulfides in a sediment-hosted orogenic gold system[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2020, 276: 345-362.
- [27] 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): 850-868.