

# 贵州天柱云洞铅锌矿地质特征及成矿作用分析

罗邦良,杨宗文,刘 灵,石庆鹏,杨贵龙

(贵州省地质矿产勘查开发局 101 地质大队,贵州 凯里 556000)

[摘 要] 云洞铅锌矿床位于南华裂谷盆地之雪峰次级裂谷盆地,赋矿地层为震旦系陡山沱组,容矿围岩主要为碳酸盐岩,少量为碎屑沉积岩,矿体呈层状、似层状产出,矿物以闪锌矿、黄铁矿及少量方铅矿,矿石结构主要有晶粒、交代残余结构,矿石构造主要为星点状、条纹状、角砾状、细粒浸染状、脉状,围岩蚀变为碳酸盐化、硅化、重晶石化。硫同位素为  $\delta^{34}\text{S}$  在  $+13.5\text{‰}\sim+22.9\text{‰}$  之间,碳同位素为  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -4.7\text{‰}\sim-8.42\text{‰}$  之间;氧同位素为  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -13.31\text{‰}\sim-14.64\text{‰}$ ,成矿温度  $142^{\circ}\text{C}\sim 255^{\circ}\text{C}$ ,属中低温成矿流体,铅锌矿床受地层、岩相及构造热液双重因素控制,矿床成因属中低温沉积改造型矿床。成矿作用经历了沉积成岩和后期热液改造阶段。

[关键词] 铅锌矿;地质特征;成矿作用,成矿模式,天柱云洞

[中图分类号] P618.42;P618.43 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2021)03-292-07

近年,通过天柱地区重晶石勘查与研究,在大河边-云洞地区发现铅锌矿,铅锌矿赋存于震旦系陡山沱组碳酸盐岩中,矿体呈层状、似层状产出,延伸规模较大。前人报道了天柱大河边(云洞)地区铅锌矿的发现(刘灵等,2017;石庆鹏等,2018;黄林等,2020),认为铅锌矿形成与热水喷流作用有关(温汉捷等,2017)。为进一步研究铅锌矿成矿作用和矿床成因问题,本文依托《黔东震旦系铅锌矿成矿规律及靶区预测》局管科研项目,从区域地质背景、赋矿地层、控矿构造、矿体规模、矿石特征及矿化阶段等方面,通过与湘西董家河铅锌矿床对比,总结该区铅锌矿成矿作用和建立矿床模式,对开展区域成矿规律及成矿预测具有重要意义。

## 1 区域地质概况

云洞铅锌矿床位于扬子陆块东南缘。构造演化经历了雪峰-加里东、海西-印支-燕山和喜马

拉雅构造阶段。在新元古代至早古生代大致经历了大陆裂解、裂陷、沉积盆地的演化过程,形成的沉积盆地属陆内断陷盆地,其发展与江南隆起作用相伴相生,先后经历了盆地裂陷、充填沉积和盆地关闭阶段,其中裂陷、充填沉积阶段为重晶石、铅锌成矿的重要时期。本区以雪峰-加里东期构造发育为主,发育有北东向、北东东向的褶皱和断裂构造,其中北东东向的镇远-芷江断裂可能属于湘西黔东古裂陷槽的同生断裂,该断裂可能形成于雪峰期(陈建书等,2011),加里东期主要表现为北东向褶皱、断裂构造,控制天柱-新晃-玉屏震旦系-寒武系沉积成矿盆地,为重晶石、铅锌成矿提供有利储矿场所。在海西-燕山期沉积了石炭系-二叠系地层,与下伏青白口系呈角度不整合接触,喜马拉雅时期为整体抬升,且后期遭受改造。

本区属于南华裂谷盆地之雪峰次级裂谷盆地(图 1A)(周琦等,2016,2017;杜远生等,2018)。盆地的下部为陆源碎屑-火山碎屑沉积,有时盆地

[收稿日期] 2021-02-13 [修回日期] 2021-06-19

[基金项目] 黔东震旦系铅锌矿成矿规律与靶区预测研究(贵州省地质矿产勘查开发局地质科研项目,合同号:黔地矿科合[2017]6号)。

[作者简介] 罗邦良(1988—),男,工程师,从事地质矿产勘查。Email:252898317@qq.com。

[通讯作者] 杨宗文(1963—),男,研究员,主要从事地质矿产勘查。Email:1020502991@qq.com。

底部还发育磨拉石沉积;中部为炭硅泥质沉积;上部为碳酸盐岩与陆源碎屑岩沉积。青白口纪为一套厚度巨大的海相陆源碎屑岩与火山碎屑岩建造;南华纪为冰川-海洋杂砾岩及含锰炭泥岩建造;埃迪卡拉(震旦)纪为陆棚硅泥岩夹白云岩建造;寒武纪早期为斜坡-盆地炭泥岩夹灰岩建造,晚期为台地碳酸盐岩建造。不同时期的沉积建造,代表盆地充填序列特征。

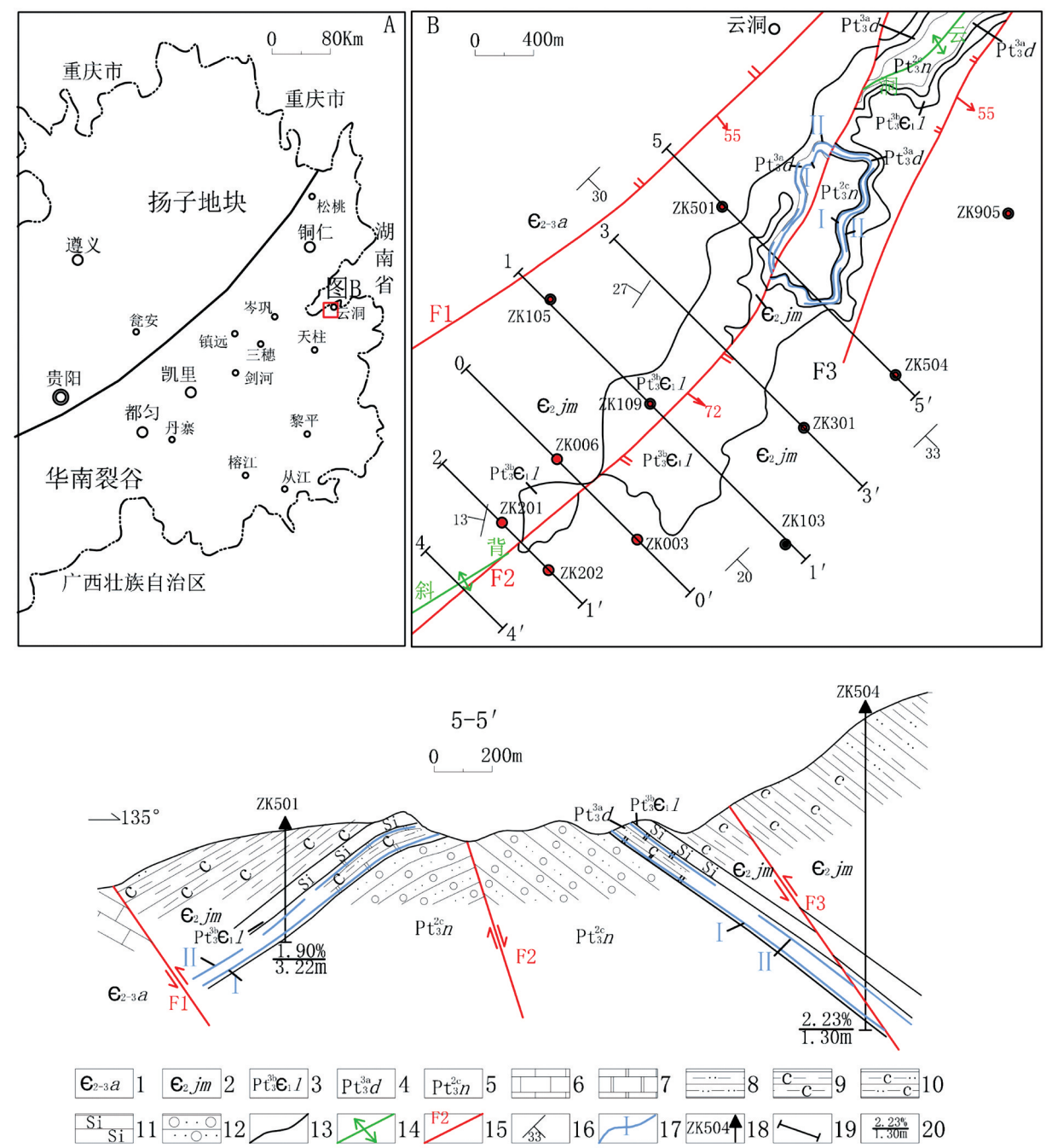


图1 贵州天柱云洞铅锌矿床地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Yundong lead-zinc deposit in Tianzhu, Guizhou

1—寒武系敖溪组;2—寒武系九门冲组;3—震旦系至寒武系老堡组;4—震旦系陡山沱组;5—南华系南沱组;6—灰岩;7—白云岩;8—粉砂岩;9—炭质页岩;10—炭质粉砂岩;11—硅质岩;12—含砾砂岩;13—地层界线;14—背斜轴;15—断层及编号;16—地层产状;17—矿层及编号;18—钻孔及编号;19—勘查线;20—品位/厚度

## 2 矿床地质特征

### 2.1 赋矿地层

铅锌矿赋存于震旦系陡山沱组顶部、中部和底部。矿体顶板主要为炭质页岩,局部地段为泥质白云岩,矿层与顶板为整合接触。底板多为铅锌矿化白云岩,局部地段与南沱组直接接触,岩性为含砾砂岩,矿层与底板亦为整合接触。主要岩性由下至上为灰色中厚层细晶白云岩、硅质白云岩,泥质白云岩夹黄铁矿、炭质页岩以及粉砂岩,白云岩常发育马牙状及钩状构造,粉砂岩常发育水平细砂纹层理构造。

本区铅锌矿化主要有两层。第一层位于陡山沱组下部,容矿岩石主要为硅质白云岩和细晶白云岩,以闪锌矿为主,方铅矿为次,闪锌矿以细脉浸染状分布于白云岩裂隙中,方铅矿以团粒状嵌布,闪锌矿多数产于燧石条带间隙中,部分产于白云石脉边缘。第二层位于陡山沱组中部及上部,容矿岩石主要为白云岩,以闪锌矿为主,有两种形式,其中一种闪锌矿以星点状产于白云岩中;另一种以细脉浸染状产于白云岩裂隙中,常与白云石共生。

### 2.2 控矿构造

区内发育北东走向-宽缓背斜褶皱构造,背斜轴部出露地层为南华系和震旦系,两翼近于对称,出露地层为寒武系。断裂构造呈北东走向,其中F1、F3分布于背斜两翼,为逆断层性质,且与背斜变形同期;F2为分布于背斜核部,为正断层,形成晚于背斜褶皱,对铅锌矿具控矿作用。

### 2.3 矿体形态、产状及规模

矿体形态呈层状、似层状、透镜状产于震旦系陡山沱组顶部、中部和底部白云岩裂隙中,主要以闪锌矿为主,偶见方铅矿。其中。产于陡山沱组底部(I号矿体)和中部(II号矿体)的矿(化)层厚度、品位相对较稳定。顶部矿(化)层厚度、品位极不稳定,呈透镜状分布。

I号矿体:产于陡山沱组近底部,分布在云洞背斜两翼(1号至4号勘探线之间),矿体呈层状、似层状产出。矿体总体走向北东,南东翼倾向南东,北西翼倾向北西,倾角 $15^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ,平均 $30^{\circ}$ 。

走向长约1 000 m,倾向延深宽约600~1 200 m,矿体埋藏标高+680~+390 m,矿体厚0.65~5.60 m,平均厚2.18 m。含Pb0.01%~0.63%,平均0.24%,Zn1.07%~5.52%,平均2.37%,组分较均匀,Pb+Zn品位为2.61%。

II号矿体:产于陡山沱组中部,分布在云洞背斜两翼(2号至5号勘探线之间),矿体呈层状、透镜状产出。矿体走向北东,沿背斜两翼倾斜,倾角 $15^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ,平均 $30^{\circ}$ 。矿体走向长约500 m,倾向延深宽约200~400 m。矿体厚0.17~2.80 m,平均厚1.42 m。含Pb0.15%~3.65%,平均0.64%,Zn1.10%~10.15%,平均2.46%,组分不均匀,Pb+Zn品位为3.10%。

### 2.4 矿石特征

矿石矿物:主要由闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、少量方铅矿及黄铜矿组成,脉石矿物主要由石英(燧石)、白云石、方解石、重晶石及沥青。闪锌矿矿物有两种形式,一种呈米黄色细晶与黄铁矿、方解石和石英共生构成稠密浸染状构造,另一种棕黄色闪锌矿-黄铁矿与白云岩构成条纹状构造;黄铁矿主要呈自形立方体状结构,其中主矿化阶段的黄铁矿主要为细粒状及块状,部分黄铁矿在闪锌矿表面形成镶边结构;白铁矿呈针状、柱状与细晶黄铁矿、闪锌矿共生;石英为白色和烟灰色两种,主要与主矿化阶段的硫化物共生,部分石英生长纹层中常充填有硫化物(闪锌矿)及重晶石;方解石和白云石呈团块状和细晶状两种,团块状方解石和白云石生长在硫化物(闪锌矿、黄铁矿)及石英的裂隙中呈细粒状方解石和白云石与细晶闪锌矿和黄铁矿交代生长,部分肉眼看上去为烟灰色-浅灰色。石膏和重晶石为白色,主要呈块状与硫化物共生,部分呈纹层状分布在石英生长纹理之间。黄铁矿与闪锌矿共生。沥青为黑色粒状分布在石英晶隙中,部分沥青还包含黄铁矿、闪锌矿等硫化物。暗示成矿作用可能有沥青参与硫酸盐还原成 $S^{2-}$ 过程。

矿石结构构造:矿石构造主要有碎裂状和网脉状两种,前者为米黄色闪锌矿呈浸点状构造(图2a),后者为棕黄色闪锌矿网脉状构造(图2b);矿石结构有粗晶结构和细晶结构两种,前者为粗晶结构(图2c),闪锌矿与方解石共生;后者为细晶结构(图2d)与白云石共生。

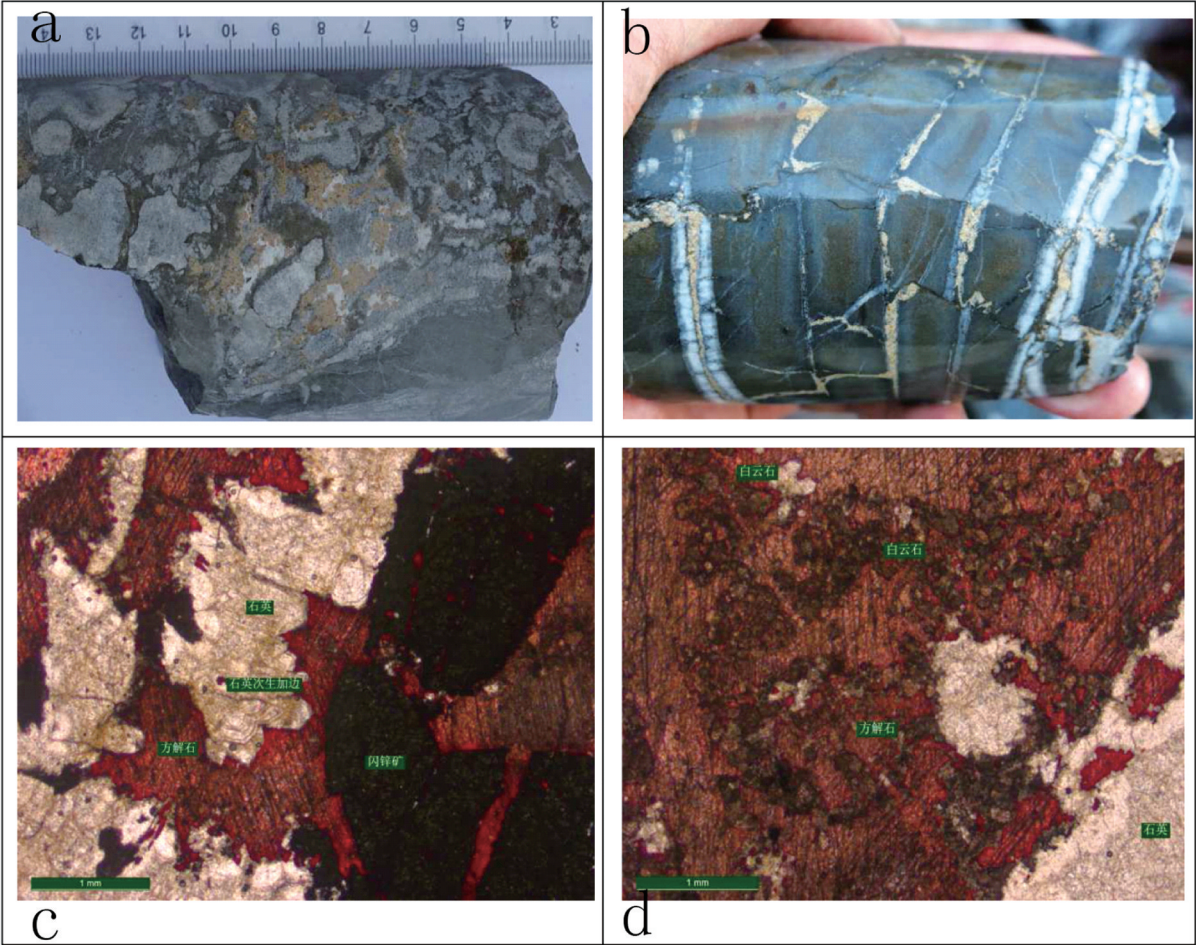


图2 天柱云洞铅锌矿床矿石结构构造特征

Fig. 2 Characteristics of ore texture and structure in Yundong lead-zinc deposit

a—角砾状构造(棕黄色闪锌呈浸点状赋于角砾岩中);b—网脉状构造(米黄色闪锌呈脉状赋于石英脉或围岩裂隙中);c—粗晶结构(闪锌矿与方解石、石英共生);d—细晶结构(闪锌矿呈细粒状与白云石、方解石共生)

矿石类型:矿石自然类型以浸点状矿石、脉状矿石为主,少量见角砾状矿石;工业类型为硫化矿石。

围岩蚀变:主要以硅化和黄铁矿化为主,少量方解石化(白云石化)、重晶石化。硅化是本区最主要蚀变现象,黄铁矿化有两种,一种是成岩期黄铁矿化,与地层岩石同时形成;另一种是成矿热液期的黄铁矿化,与闪锌矿、方铅矿关系密切。

2.5 矿化阶段

矿物生成序列可分为成岩阶段、早成矿阶段、主成矿阶段及晚成矿阶段。成岩阶段的矿物组合主要为草莓状黄铁矿散布在含炭页岩、泥岩与粉砂岩互层的砂岩层及白云岩中,白云岩中见少量重结晶的方解石。早成矿阶段以团块状、粗晶黄铁矿居多,夹杂少量棕黄色闪锌矿,并伴有大量石英沉淀(强硅化现象),这一阶段主要是对陡山沱

组地层的部分金属元素进行萃取活化。主成矿阶段主要矿物组合为细晶黄铁矿、白铁矿、细晶(米黄色)闪锌矿及少量方铅矿;与细晶硫化物共生的主要为方解石和石英,方解石、石英围绕闪锌矿等硫化物生长或充填在硫化物果粒之间;晚成矿阶段为方铅矿、黄铜矿和粗晶立方体状黄铁矿充填在早阶段已有矿物之中,伴有大量重晶石、方解石、白云石和沥青沉淀,多分布在已形成的硫化物裂隙中,或者呈团块状分布在矿脉中。

3 与董家河矿床对比

通过云洞铅锌矿赋矿地层、容矿岩石、矿体特征、矿石特征、蚀变特征、矿体顶底板及夹石、地球化学特征与湖南董家河铅锌矿床特征(曾勇等,2007;汤朝阳等,2009;左勇等,2015;陈寅萨等,2017;司妍博等,2018)对比研究。

表 1 天柱云洞铅锌矿特征与湖南董家河铅锌床特征对比表

Table 1 Feature comparison of Yundong lead-zinc deposit in Tianzhu and Dongjiahe lead-zinc deposit in Hunan

| 矿床        | 天柱云洞铅锌矿床                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 湖南董家河铅锌矿床                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 赋矿地层      | 震旦系陡山沱组                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 震旦系陡山沱组                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 容矿岩石      | 泥晶-粉晶白云岩及少量粉砂岩                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 泥晶-粉晶白云岩及少量硅质岩                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 矿体特征      | 呈层状、似层状为出,分上、下两层矿,下矿层稳定,上矿层不稳定。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 呈层状、似层状为出,分上、下两层矿,上矿层稳定,下矿层不稳定。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 矿石特征      | 闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、白云石、石英、重晶石                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 矿石矿物有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿;脉石矿物白云石、石英、泥炭。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 结构、构造     | 矿石结构有细-粗晶、交代、残余结构等;矿石构造有星点状、浸染状、条纹状、角砾状、脉状构造等。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 矿石结构有微晶镶嵌、细-粗晶、残余、交代、胶状结构等;矿石构造有团粒状、浸染状、放射状、条带状、皮壳状、角砾状、脉状和环带构造等。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 矿石类型      | 黄铁矿-闪锌矿、闪锌矿-方铅矿、闪锌矿。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 黄铁矿-闪锌矿、黄铁矿-闪锌矿-方铅矿、闪锌矿、闪锌矿-方铅矿。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 围岩蚀变      | 碳酸盐化、硅化及重晶石化等。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 碳酸盐化、硅化及重晶石化等。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 顶、底板围岩及夹石 | 顶板为白云岩,底板为冰碛含砾砂质泥岩或白云岩,夹石为白云岩及粉砂岩。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 顶板为硅质岩,底板为冰碛含砾砂质泥岩,夹石为白云岩及硅质岩。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 地球化学特征    | 成矿温度 142℃~255℃;硫同位素为 $\delta^{34}\text{S}$ 在 +13.5‰~+22.9‰之间;碳同位素为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -4.7\text{‰} \sim -8.42\text{‰}$ 之间;氧同位素为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -13.31\text{‰} \sim -14.64\text{‰}$ ;铅同位素: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.679 \sim 17.718$ (均值=17.694), $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.537 \sim 15.577$ (均值=15.568), $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.587 \sim 37.716$ (均值=37.687) | 成矿温度 130℃~170℃;硫同位素为 $\delta^{34}\text{S}$ 在 -17.9‰~+17.9‰之间;碳同位素为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -9.667\text{‰} \sim -4.297\text{‰}$ 之间;氧同位素为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -7.27\text{‰} \sim 0.82\text{‰}$ ;铅同位素: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.197 \sim 18.167$ , (均值=17.865) $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.07 \sim 15.906$ (均值=15.745) $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.162 \sim 38.737$ (均值=37.759) |

以上两矿床在赋矿地层、容矿岩石、矿体特征、结构构造、矿石类型和围岩蚀变及部分地球化学特征比较相似(表 2)。但也存在一定差异,云洞铅锌矿床主矿体位于陡山沱组底部,厚 3~4 m,矿层顶板为白云岩,底板为冰碛砾岩,有时为白云岩,与围岩呈渐变过渡,硫同位素为  $\delta^{34}\text{S}$  在 +13.5‰~+22.9‰之间,变化不大,碳同位素为  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -4.7\text{‰} \sim -8.42\text{‰}$ 之间;氧同位素为  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -13.31\text{‰} \sim -14.64\text{‰}$ 。董家河铅锌矿床有主矿体位于陡山沱组上部,厚 5~6 m,矿层顶板为暗色泥质和白云质页岩,发育黄铁矿,底板为冰碛砾岩,矿层与顶板、底板围岩均呈突变接触关系,硫同位素为  $\delta^{34}\text{S}$  在 -17.9‰~+17.9‰之间,变化范围较大,碳同位素为  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -9.667\text{‰} \sim -4.297\text{‰}$ 之间;氧同位素为  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -7.27\text{‰} \sim 0.82\text{‰}$ 。

综上所述,从两矿床的矿石结构构造、矿物组合、围岩蚀变及流体包裹体特征来看,表明矿床的成矿流体属中低温成矿流体,成矿作用受地层、岩相及构造热液双重因素控制,矿床成因为低温沉积改造型矿床(段其发,2014)。

4 成矿作用分析

4.1 成矿控制

(1) 地层控矿

铅锌矿床严格受地层层位控制,具层控型矿床特点,赋矿层位为震旦系陡山沱组底部的白云岩中,顶板为灰色泥质白云岩,与白云岩的界线不明显。泥质白云岩的厚度变化大,向上出现暗色泥质页岩,底板为冰为在云洞矿区,扰动层的扰动程度不强,主要是形成顺层的裂隙-充填构造,“角砾化”的程度不高。裂隙间的充填物和其他地区盖帽白云岩中扰动层的充填物一致,早期为乳白色白云石,晚期为烟灰色的燧石、石英,在构造裂隙中,早期乳白色白云石不发育。

(2) 沉积相控矿

埃迪卡拉纪-寒武世时期,该区处于盆地边缘斜坡。在盆地边缘斜坡带上老堡组沉积了厚度较大的硅质岩夹炭页岩组合,发育滑塌滑移构造,局部形成滑塌角砾岩,代表斜坡相特征。而在盆地

边缘斜坡下部陡山沱组主要堆积了碳酸盐岩夹少量陆源碎屑岩组合,碳酸盐岩以泥质白云岩为主,碎屑岩以粉砂岩为主,发育水平层理和细粒黄铁矿纹理,代表浅海陆棚相特征(图 3a)。

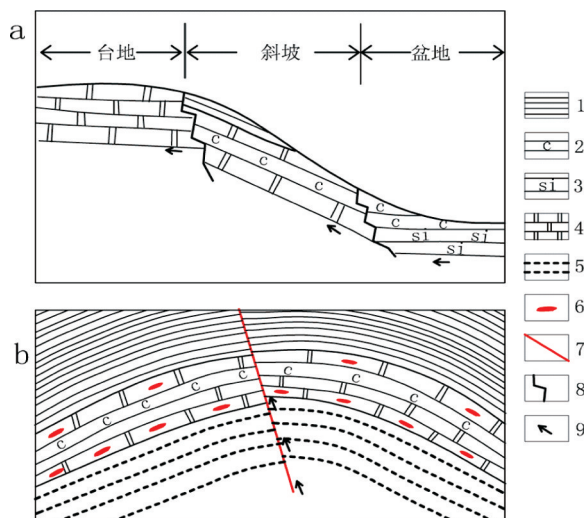


图3 天柱大河边-云洞铅锌矿床成矿模式图

Fig. 3 Mineralization model of Dahebian-Yundong lead-zinc deposit in Tianzhu

1—页岩;2—炭质页岩;3—硅质岩;4—白云岩;5—砂岩;6—铅锌矿体;7—控矿断层;8—相变线;9—流体运移方向

### (3) 构造控矿

铅锌矿床主要产于北东走向背斜内部,在背斜轴部发育一个大型正断层,两翼发育平行褶皱枢纽的逆断层,后者可能与褶皱构造变形同期,而正断层晚于褶皱形成,切穿褶皱。该区褶皱及断层主要为浅表层构造样式,与江南加里东期构造特征一致,背斜构造是内生热液矿床的主要控矿构造。本区铅锌矿主要围绕云洞背斜核部分布,在背斜核部或近核部两侧矿化较强,品位较富;远离背斜构造,矿化相对较弱,若在背斜核部有断层叠加对矿化更有利,如F2断层破碎带中见到铅锌矿化,表明铅锌矿化与构造关系密切。

## 4.2 矿床成因分析

本区铅锌矿主要赋存于震旦系陡山沱组盖帽白云岩中,容矿围岩为白云岩。在空间上,铅锌矿化与重晶石矿床相距约30~50 m,重晶石矿层中含有闪锌矿、黄铜矿等硫化物,Zn含量可高达0.8%,表明重晶石成矿过种中同时伴有Zn、Cu金属元素的富集。根据(周正兵,2018)对天柱大河边铅锌矿床中白云石,陡山沱组白云岩Pb、Zn同位素测试数据,铅锌矿石中硫化物的铅同位素组成分别为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.679 \sim 17.718$  (均值 =

17.694),  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.537 \sim 15.577$  (均值 = 15.568),  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.587 \sim 37.716$  (均值 = 37.687),与褶皱基底及陡山沱组的铅同位素对比,铅锌矿床中铅同位素与他们具有相似性,表明成矿物质主要来源于陡山沱组含矿地层,部分来自基底变质岩。闪锌矿的Zn同位素组成分别为早期闪锌矿的 $\delta^{66/64}\text{Zn}_{\text{NLYOU JMC}} = 0.43 \pm 0.07$  (n=5)和晚期闪锌矿 $\delta^{66/64}\text{Zn}_{\text{NLYOU JMC}} = 0.09 \pm 0.09$  (n=13),与董家河、低炉铅锌矿床类似,与海水混合过程中的Zn同位素特征相似,表明成矿物质来源有海水参与。

闪锌矿的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 在13.5‰~22.9‰之间,均值为15.53‰,明显低于早寒武世海水的硫同位素组成( $\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}} = 29.00\text{‰} \sim 37.2\text{‰}$ ),均值 $32.6\text{‰} \pm 1.8\text{‰}$  (周正兵,2018),比大河边重晶石矿床中的重晶石的硫同位素组成( $\delta^{34}\text{S}_{\text{Brt}} = 37.5\text{‰} \sim 45\text{‰}$ )更低。通过(周正兵,2018)对云洞铅锌矿床中碳氧同位素的研究,闪锌矿石中碳同位素组成在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -4.7\text{‰} \sim -8.42\text{‰}$ 之间,氧同位素组成在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -13.31\text{‰} \sim -14.64\text{‰}$ 之间,所以铅锌矿床的碳氧同位素比陡山沱组地层的碳氧同位素低,出现负漂移(周正兵,2018)。表明该区铅锌矿形成具有热液叠加作用。

矿石微量元素除Pb、Zn、Ag、Cd含量较高,其它元素如Cu、Co、Cr、Zr、Sr、Ni、V、Tb、Ta的含量均较低;矿石稀土元素总量偏低, $\Sigma\text{REE}$ 在9.77~50.5 ppm之间(均值19.70 ppm);REE+Y配分模式表现出轻稀土亏损,重稀土相对富集的特征;围岩的稀土元素总量 $\Sigma\text{REE}$ 在10.2~158.6 ppm之间(均值77.38 ppm);REE+Y配分模式表现出轻稀土亏损,重稀土相对富集的特征;稀土元素Ce、Eu是反映氧化/还原条件最为敏感的元素,铅锌矿床中的容矿岩石(白云岩、粉砂岩) $\delta^{15}\text{N}$ 为弱负异常或无异常, $\delta\text{Eu}$ 也显示负异常,可能海水蒸发作用发生负偏移的原因,表明陡山沱组沉积时水体偏氧化环境。

## 5 成矿模式

云洞铅锌矿床受地层、岩相及构造热液作用的双重控制,矿床成因属中低温热液改造矿床。成矿物质来源主要来源于下伏含矿地层,部分来自基底变质岩。成矿经历了沉积成岩和后期热液改造阶段,在沉积成岩阶段,本区可能存在富含Pb、Zn的沉积地层,成岩后的低温盆地内热卤水

作用以及构造热液活动使下伏岩石、赋矿围岩及局部基低变质岩石中 Pb、Zn 元素发生了活化迁移而在有利的层位(陡山沱组)及容矿岩石(白云岩)最终富集成矿(图 3b)。

## 6 结 论

天柱云洞铅锌矿床赋存于震旦系陡山沱组,严格受地层层位控制,具有浅海陆棚相控矿特征,其受构造控矿明显。成矿物质主要来源于震旦系陡山沱组,部分来自于基底变质岩,铅锌矿成矿作用成矿经历了沉积成岩和后期热液改造阶段,矿床成因属中低温沉积改造矿床。

### [参考文献]

- 陈建书,蒲元强,石磊,等. 2011. 贵州大河边一带重晶石矿成矿地质背景及找矿潜力[J]. 贵州地质, (02): 86-91.
- 陈寅萨,唐代文,王纪振. 2017. 沅陵县董家河黄铁-铅锌多金属矿床成矿地质特征、控矿因素及找矿标志[J]. 国土资源导刊, 14(01): 70-75.
- 杜远生,周琦,余文超,等. 2018. 贵州南华纪-震旦纪沉积大地构造及其对沉积矿产的控制作用[J]. 贵州地质, 35(004): 282-290.
- 段其发. 2014. 湘西-鄂西地区震旦系-寒武系层控铅锌矿成矿规律研究[D]. 中国地质大学, 36-74.
- 黄林,刘灵,文星桥等. 2020. 贵州天柱云洞铅锌矿床地质地球化学特征[J]. 矿物学报, 40(4): 458-465.
- 刘灵,石庆鹏,文星桥,等. 2017. 贵州天柱云洞地区铅锌矿的发现及其意义[J]. 贵州地质, 34(1): 27-31.
- 石庆鹏,刘灵,杨贵龙. 2018. 贵州天柱云洞铅锌矿床地质特征及控矿因素[J]. 云南化工, 45(1): 191-193.
- 司妍博,唐代文. 2018. 沅陵县董家河铅锌矿地质特征及成矿规律浅析[J]. 南方金属, 000(001): 30-32.
- 汤朝阳,段其发,邹先武,等. 2009. 鄂西-湘西地区震旦系灯影期岩相古地理与层控铅锌矿关系初探[J]. 地质论评, 55(5): 712-721.
- 温汉捷,周正兵,刘灵,等. 2017. 贵州天柱大河边铅锌矿床的发现及其意义. 地质通报, 36(7): 1289-1293.
- 周琦,杜远生,袁良军等. 2016. 湘黔渝毗邻区南华纪武陵裂谷盆地结构及其对锰矿的控制作用. 地球科学, 42(2): 177-188.
- 周琦,杜远生,袁良军等. 2018. 黔东及毗邻区南华纪“大塘坡式”锰矿研究历史、主要进展及展望. 贵州地质, 35(4): 274-275.
- 周正兵. 江南造山带西段铅锌矿床成矿机制[D]. 中国科学院地球化学研究所博士学位论文, 2018: 101-106.
- 曾勇,李成君. 2007. 湘西董家河铅锌矿地质特征及成矿物质来源探讨[J]. 华南地质与矿产, (03): 24-30.
- 左勇,丁振举,李泽军,等. 2015. 湖南省湘西董家河铅锌矿床成矿流体研究[J]. 矿物学报, v. 35(S1): 655-656.

## Geological Characteristics and Mineralization Analysis of Yundong Lead-zinc Deposit in Tianzhu, Guizhou

LUO Bang-liang, YANG Zong-wen, LIU Ling, SHI Qing-peng, YANG Gui-long

(101 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Kaoli 556000, Guizhou, China)

**[Abstract]** Yundong lead-zinc deposit located in Xuefeng secondary rift basin of Nanhua rift basin, the ore hosting strata is Doushantuo formation of Sinian system, the host rock mainly is carbonate rock, little is clastic sedimentary rock, the orebody appears in bedded and near bedded, the mineral include sphalerite, pyrite and some galena, the ore texture mainly are grain and metasomatic relict texture, the ore structure mainly are stellate, streak, brecciform, grained Disseminated and vein, the wall rock alteration are carbonation, silication and baratization. The sulfur isotope  $\delta^{34}\text{S}$  is +13.5‰ to +22.9‰, Cisotope  $\delta^{13}\text{CPDB}$  is -4.7‰ to -8.42‰, Oisotope  $\delta^{13}\text{OPDB}$  is -13.31‰ to -14.64‰, the ore forming temperature is 142℃ to 255℃ and belong to medium and low temperature ore forming fluid, the lead-zinc deposit are controlled by stratum, lithology and structural hydrothermal, the genesis of deposit is medium and low temperature reworked deposit. The mineralization experienced diagenesis stage and hydrothermal alteration stage in the late period.

**[Key Words]** Lead - zinc deposit; Geological characteristics; Mineralization; Mineralization model; Yundong Tianzhu