

文章编号: 1009-6248(2007)01-0042-19

陕西马元地区铅锌矿地质特征及矿床类型

侯满堂, 王党国, 邓胜波, 杨宗让

(陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 陕西马元地区铅锌矿位于扬子地台北缘碑坝隆起东南缘一带。矿化带长大于60 km, 宽10~200 m, 可分为南、东、北3个铅锌矿化带, 已圈出了40多条铅锌矿体。其中南矿化带长大于20 km, 宽20~120 m, 已圈出了30多条铅锌矿体; 东矿化带长大于30 km, 宽20~200 m, 地表已发现7条铅锌矿体; 北矿化带长大于10 km, 宽10~100 m。矿体一般长100~2 560 m, 厚0.80~10.01 m, 锌品位1.05%~10.82%, 铅品位0.55%~7.54%。主矿体长2 560 m, 厚1.46~32.53 m, 平均厚约7.60 m, 最厚28.40 m, 锌品位1.45%~11.42%, 平均4.47%。矿化带地层主体由震旦系灯影组白云岩组成, 矿化产于灯影组的砾状白云质角砾岩带中。研究表明, 基底岩系可能为成矿元素Pb、Zn的主要来源; 原始铅主要来源于壳幔混合的造山带; 硫同位素富集重硫, 可能主要来源海水硫酸盐; 矿石中稀土元素富集, 轻稀土分异较明显, 而重稀土分异不明显; 成矿流体推测为热卤水性; 成矿温度为中低温, 具有低压浅成成矿特点; 矿床形成的初期应始于震旦纪灯影世晚期。结合成矿地质特征, 与国外MVT型铅锌矿对比, 初步认为区内铅锌矿成因类型类似于MVT型铅锌矿, 但有着明显的差异, 人们称之为“台缘型”或“扬子型”铅锌矿。经预测, 陕西碑坝—马元、云河—庙坝、阳平关—宽川铺—阜川、司上一—镇巴、镇坪及湖北竹溪、神农架、黄陵等地区有较好的找矿前景。

关键词: 陕西马元; 铅锌矿; 地质特征; 矿床成因; 找矿方向

中图分类号: P618.2 **文献标识码:** A

1 前言

震旦系广布于扬子地台边缘。新中国成立以来, 湘、黔、桂、滇、陕等省相继在这一层位开展了铅锌地质勘查工作, 发现了一大批铅锌矿床, 例如, 会东大梁子、会理天宝山、甘洛赤普大型铅锌矿床以及宁南银厂沟、甘洛沙岱、汉源团宝山、唐家中型铅锌矿床, 在桂北、湘西北、赣西北地区(江南台隆)发现了董家河、团河等铅锌矿床(地矿部地矿司南岭铅锌矿专题组, 1985; 杨应选等, 1994; 邵世才等, 1996; 吴学益等, 1997; 张立生, 1998; 刘文周等, 2002; 王奖臻等, 2001; 王奖臻等, 2002;

李泽琴等, 2002; 刘淑文, 2002), 此外, 还发现了数目繁多的小型矿床和矿点。近年来, 随着国土资源大调查项目的开展, 在灯影组新发现不断出现。川西南汉源—会理地区在已知矿床外围有许多新发现, 陕西南郑马元地区(宋小文等, 2003; 齐文等, 2004; 芮宗瑶等, 2004; 宋小文等, 2004)、湖北竹溪—谷城一带的朝阳、贵子沟、老公峪(林长谦等, 2005)等发现了多个铅锌矿床, 湖北神农架等区也都新发现了铅锌矿点, 在扬子地台北缘的陕西还发现了九道拐、云河、庙坝、西河、钟家沟、铅铜湾、毛坝、镇坪等铅锌矿(化)点。这些新发现使扬子地台震旦系铅锌矿再次受到地质界的关注, 特别是

收稿日期: 2006-10-12

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(编号: 200310200037、1212010531802)

作者简介: 侯满堂(1958-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事地质矿产勘查、研究工作。通讯地址: 710054, 西安市雁塔北路100号, 陕西省地质调查院; 电话: 029-87851078; E-mail: Xahmt@163.com。

南郑马元地区大型铅锌矿带的发现, 对扬子地台铅锌矿的勘查、研究有着重要的现实意义和理论意义。

2 成矿地质背景和物化探异常

陕西马元地区铅锌矿位于扬子地台北缘碑坝古

陆核活化杂岩区(图1、图2)。基底由中、晚元古代火地垭群中、深变质火山碎屑岩系及晋宁—澄江期中酸性侵入岩、基性杂岩等构成, 盖层由角度不整合于基底之上的上震旦统一寒武统浅海相碳酸盐岩—碎屑岩系构成。铅锌矿赋存于上震旦统灯影组白云岩中。

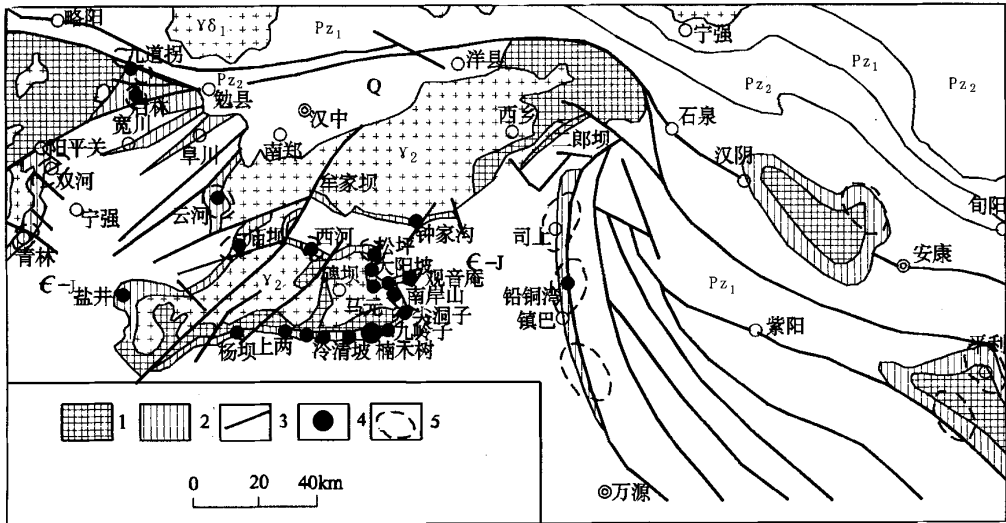


图1 扬子地台北缘(陕西部分)地质构造及铅锌矿分布图

Fig. 1 Geology and lead-zinc mineralization on the northern margin (Shaanxi part) of Yangtze platform

Pz₁. 下古生界; Pz₂. 上古生界; E-J. 寒武—侏罗系; Q. 第四系; γ_2 - $\gamma_{\delta 1}$. 晋宁—澄江期/印支期花岗岩; 1. 前震旦系基底变质火山岩系; 2. 上震旦统灯影组; 3. 区域性断裂; 4. 铅锌矿产地; 5. 铅锌化探异常

区内已完成1:20万化探扫面、1:5万水系沉积物测量及1:5万重砂测量,在灯影组中圈出Pb、Zn异常15处、重砂异常10处。现已发现铅锌矿床(矿点、矿化点)20多处,铜矿(化)点5处,钴矿点2处,铁矿点1处。铜矿有二朗坝、柏树梁、黄龙寺、张家沟铜矿点等,主要产于碑坝基底内的辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩中。钴矿和铁矿则主要产于郭家坝组底部平行不整合面上的含钴铝土褐铁矿层中,以九岭子钴矿点和冷青坡铁矿点为代表,均属风化淋滤型。

2.1 地层

矿区出露地层主要有中上元古界火地垭群、震旦系和寒武系。其中火地垭群位于碑坝隆起中心部位,震旦系和寒武系出露于隆起的周边。

中、晚元古代火地垭群由后河组、麻窝子组、上两组和铁船山组组成,岩性主要为中、深变质火山

碎屑岩夹中基性火山熔岩、大理岩,下部有混合岩。

震旦系分布于汉南—碑坝区北部、东部和南部。下统缺失,上统为灯影组,直接不整合沉积在火地垭群或侵入岩之上。岩性为硅质白云岩、藻屑白云岩、砂质白云岩、砂岩等。总厚288~788 m。在下部藻屑白云岩夹条纹状白云岩中产藻类化石,在上部白云岩中产原始软体动物和软舌螺。依据化石及岩性组合,将其分为上、下两段,二者以砂岩为界。

灯影组下段(Z_2dn^1):直接覆于火地垭群及澄江期侵入岩之上。岩性为砂砾岩、葡萄状藻屑白云岩、条纹状藻屑白云岩、块状白云岩及角砾状白云岩。本段在东部小河(白玉)至广家红崖子一带缺失。该段又可分第一、第二两个岩性层。第一岩性层(Z_2dn^{1-1})为灰黄色中厚层白云质砂砾岩及含砾白云岩和复成分砾岩。第二岩性层(Z_2dn^{1-2})整合于下部岩性之上,岩性上部为黄灰—砖红色中厚层长

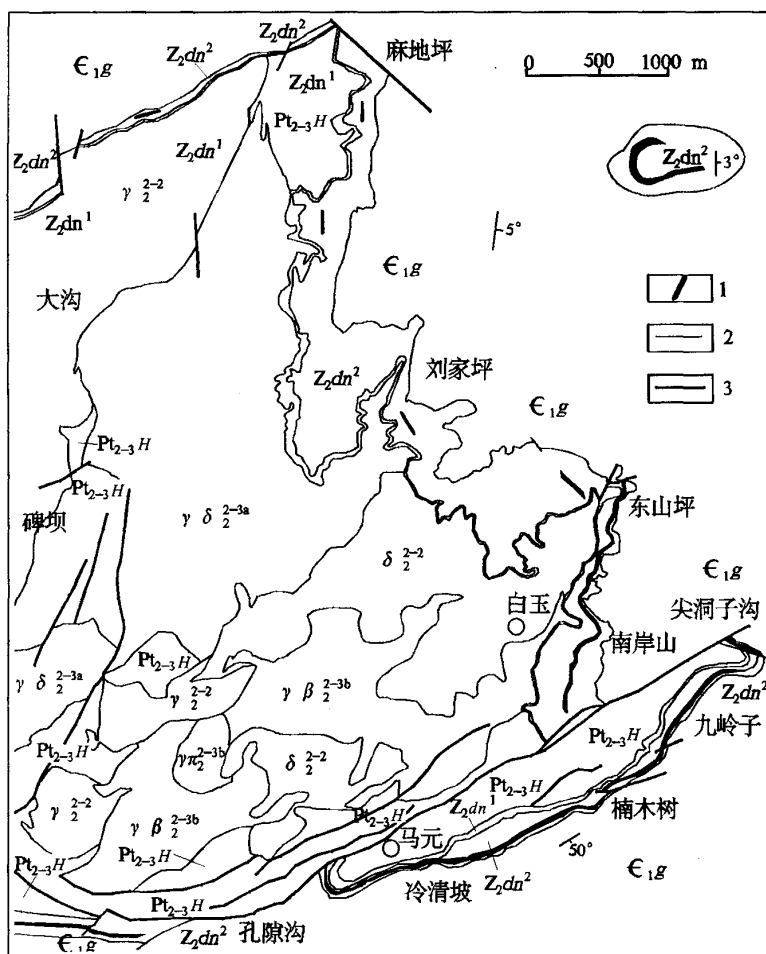


图 2 马元地区铅锌矿带地质示意图

Fig. 2 Geological sketch map of Mayuan lead-zinc deposits zone in Nanzheng

ϵ_{1g} , 下寒武统郭家坝组; Z_2dn^2 , 上震旦统灯影组上段; Z_2dn^1 , 上震旦统灯影组下段; $Pt_{2-3}H$, 中、晚元古代火地垭群; $\gamma\pi_2^{2-3b}$, 花岗斑岩; $\gamma\beta_2^{2-3b}$, 黑云母花岗岩; δ_2^{2-2} , 闪长岩; $\gamma\delta_2^{2-3a}$, 黑云母斜长花岗岩、斜长花岗岩; 1. 铅锌矿带; 2. 地质界线; 3. 断裂 (灯影组与火地垭群之间为角度不整合, 郭家坝组与灯影组为平行不整合, 图中未画出)

石英砂岩与灰白色中厚层硅质白云岩互层, 间夹泥砂质白云岩。与富藻层互层。缺失下贫藻层, 部分地区上贫藻层也缺失。该段厚 99~404 m。

灯影组上段 (Z_2dn^2): 平行不整合于下段之上。该段又可分第一、第二两个岩性层。第一岩性层 (Z_2dn^{2-1}) 以中厚层状砾屑白云岩为主, 间夹薄层状藻屑白云岩, 普遍含沥青等有机物, 为铅锌矿赋矿层位。第二岩性层 (Z_2dn^{2-2}) 岩性为硅质白云岩、含碳、泥质白云岩和微粒结晶灰岩等; 上部含硅质条带和团块, 并含胶磷矿, 顶部产软舌螺。该段厚 189

~384 m。

灯影组岩性组合特点为: 下段陆源碎屑物、泥质含量高, 硅质、钙质低; 上段硅质、钙质增高, 泥质减少, 陆源碎屑物少见, 硅质条带和团块多集中在上段。沿走向, 前进乡以东硅质条带和团块增多, 沙坝、贵民一带减少, 且仅见于顶部。灯影组上段是重要的含矿层位, 多处见铅锌矿化。朱家坝还发现有磷矿, 贵民一带见有含磷条带。

灯影组厚度和岩相特点为: 灯影下段沉积厚度和岩相变化表现为南厚北薄, 小河到红崖子之间缺

失, 贵民至汇滩, 沉积最厚, 除下贫藻层缺失外, 富藻层和上贫藻层都有沉积。灯影上段沉积厚度和岩相无明显变化, 以富含硅质条带或团块为其特征, 其中, 上部具铅锌矿化, 顶部含磷。底部往往有砂岩、砾岩沉积。小河至红崖子灯影组上段角度不整合于火地垭群、澄江期侵入岩之上。该地层顶部含磷层中, 盛产原始软体动物——软舌螺化石。

寒武系为滨海—浅海相的砂岩、页岩, 厚 522~678 m。平行不整合于震旦系之上。根据化石和岩性组合, 将测区内下寒武统划归郭家坝组。郭家坝组下段, 岩性为碳质页岩, 铝土质页岩, 底部有一层厚 1~38 m 的含钴黑土、褐铁矿层; 上段岩性主要为网格状泥灰岩、含钙粉砂岩。

2.2 构造

区内构造总体上为一个大型穹隆构造, 其核部由中、晚元古界火地垭群及晋宁—澄江期侵入体构成, 翼部为上震旦统一寒武统。翼部地层往往发育宽缓的复式向斜构造。上震旦统灯影组含矿地层则构成这一穹隆翼部宽缓复式向斜构造的底部地层单元。含矿层位的分布明显受穹隆翼部宽缓复式向斜构造控制。

区内断裂构造主要沿穹隆核部杂岩的近翼部位置上发育, 有成矿前的控矿断裂和成矿后的破坏矿体断裂。成矿前形成的控矿断裂主要沿灯影组上段第一岩性层角砾状白云岩层顺层产出, 其形成的构造角砾岩主体特征以张性特征为主, 角砾成分为上段第一岩性段角砾状白云岩, 胶结物主要以围岩碎屑为主。角砾棱角分明, 局部地段角砾形状具有可拼接特征, 说明角砾形成过程中位移量不大。其次可见到压扭性特征构造角砾岩, 其角砾具有一定的磨圆度, 胶结物以白云岩碎屑为主。早期断裂构造角砾岩胶结物中普遍具有闪锌矿化、方铅矿化、重晶石化、零星黄铁矿化, 而角砾中很少出现矿化现象。翼部灯影组上段第一岩性段厚层白云岩内形成的层间控矿断裂随着地层的褶皱而发生褶曲, 并沿穹隆周边分布。成矿后断裂以马元—朱家坝逆掩断裂为主, 呈 NEE 向横贯研究区南部, 造成了基底岩系(麻窝子组)上来而局部迭加超覆在翼部的含矿层位(Z_2dn)之上(张家沟一带)。在灯影组含矿地层内则主要发育有斜切及横切地层的平移断层, 其对含矿角砾岩带及矿体有一定的错动(1~5 m)。在九岭子矿段断层呈 NWW 向展布, 左行平移断层位

移较大, 造成了含矿地层发生错位达 1 000 m 以上, 并使含矿角砾岩带重复出现。尖碛子沟矿段含矿角砾岩带则处于尖碛子沟次级背斜转折端的北翼, 受平行轴向的逆冲断层向南逆掩, 而明显超覆在下盘灯影组上段砂岩层之上。

2.3 岩浆岩活动及变质作用

基底隆起核部碑坝杂岩区内有大面积中上元古界火地垭群火山喷出岩及晋宁—澄江期侵入岩出露。

中上元古界火地垭群火山喷出岩主要分布于评价区西侧碑坝一带, 大致有两次较明显的火山活动, 分别形成后河杂岩和铁船山组, 喷发环境自海相向陆相过渡。后河杂岩中的火山岩为本区火山岩最早的一期喷发, 组成后河杂岩上部夹层, 岩性为浅变质的基—中酸性熔岩, 原岩为安山玄武岩, 杏仁状安山玄武岩, 变流纹岩, 流纹质角砾熔岩等。铁船山组火山岩为区内规模最大的一次火山活动, 构成了铁船山组主体。为一套变质的以酸性—中酸性火山岩为主的火山岩系。可分为上、中、下三段。下段以玄武岩和流纹岩为主; 中段以流纹岩和流纹质火山碎屑岩为主, 偶见珍珠岩; 上段主要为凝灰质砾岩、凝灰质板岩, 板岩等, 也出现有少量玄武岩、安山玄武岩及流纹岩。区内次火山岩分布较广, 主要见于碑坝一带, 呈岩颈、岩床和岩脉产出。岩性主要为辉绿玢岩、安山玢岩和辉长辉绿岩。

晋宁—澄江期侵入岩岩性主要有黑云母花岗岩、花岗斑岩、斜长花岗岩、闪长岩、辉长岩、辉绿岩及超基性岩等。在翼部的上震旦统一寒武统沉积区内无侵入岩。

区内变质作用程度不等。基底地层变质程度较深, 盖层岩石变质程度较浅。基底地层变质岩石以片麻岩、片岩为主, 局部出现眼球状混合岩, 在酸性侵入体与基底碳酸盐岩接触部位发生大理岩化; 其上部的铁船山组达高绿片岩相; 中、下部的麻窝子组和上两组已达高绿片岩—低角闪岩相, 出现堇青石+石榴石+透闪石+透辉石组合; 底部的后河组出现了混合岩。反映了变质程度有从上向下变深的特点。另外, 在晋宁—澄江期侵入体的内外接触部位一般有接触变质带发育。盖层岩石变质程度较浅, 岩石以白云岩、板岩为主。

2.4 化探、重砂异常特征

1:5 万水系沉积物测量在区内圈出了成带状分布的 Pb、Zn、Co、Cu 等多元素综合异常 9 个。异

常规模大、强度高,分带明显。单个异常面积 $2\sim 18\text{ km}^2$, Zn 元素平均值 $110\times 10^{-6}\sim 290\times 10^{-6}$, 离差 $70\sim 390$, 多具外、中、内三级浓度分带。异常主体均与灯影组分布吻合, 经对部分异常初步工作, 多数已发现铅锌矿(化)体, 为矿致异常。 $1:5$ 万重砂测量沿孔隙沟—楠木树—南岸山—刘家坪一带圈出5个铅、铜、辰砂异常, 其展布基本与 $1:5$ 万水系沉积物异常和灯影组对应吻合, 异常区内均发现了铅锌矿(化)体。

2.5 激电异常特征

在全区34条 $1:1$ 万激电剖面上, 推断解释确定与已知矿(化)体相关的甲类 η_s 异常24个, 有找矿意义的乙类异常15个。铅锌矿(化)体均形成明显或可分辨的局部异常。 η_s 异常强度较低, 一般在 $1\%\sim 3\%$; 异常范围内有较高的 η_s 异常, 一般为 $2\ 000\sim 5\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 。白云岩、角砾状白云岩不形成明显的 η_s 异常峰值, 能形成明显的 η_s 异常。碳质板岩能形成强度较高的 η_s 异常, 范围较大一般和碳质板岩相对应; η_s 极大值一般在 $4\%\sim 7\%$ 。 ρ_s 值极低, 一般为 $100\sim 300\ \Omega\cdot\text{m}$, 曲线平直不形成异常。砂岩 η_s 异常强度较高($4\%\sim 8\%$)与碳质板岩引起的异常强度相当; 对应有较高强度的 η_s 异常($3\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$)或背景($1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右)。对野外露头 and 岩、矿(石)标本进行测定表明, 区内岩、矿石电性均存在较大差异; 其中铅锌矿石极化率较高(5.21%), 电阻率最高($11\ 379\ \Omega\cdot\text{m}$); 碳质板岩极化率最高(17.23%), 电阻率最低($883\ \Omega\cdot\text{m}$); 角砾岩及白云岩电性差异较小, 极化率最低($0.81\%\sim 0.63\%$), 电阻率较高($2\ 710\sim 3\ 158\ \Omega\cdot\text{m}$)。在南矿带孔隙沟—九岭子一带开展的 $1:1$ 万电法测量, 圈出8个激电异常, 其中7个与矿化角砾岩带吻合, 均发现了铅锌矿体, 为矿致异常。

3 矿床地质

3.1 矿带及矿体

马元地区铅锌矿产于碑坝穹隆周缘灯影组白云岩中, 已发现总长大于 60 km , 宽 $10\sim 200\text{ m}$ 的铅锌矿化带。矿化带可分为南、东、北3个铅锌矿(化)带(图2)。在3个矿(化)带内孔隙沟、冷青坡、楠木树、九岭子、尖碛子沟、南岸山、观音庵等地段现已发现40多条铅锌矿体。已发现的铅锌矿

体主要分布于南矿(化)带和东矿(化)带。

3.1.1 南矿(化)带

呈北东东向沿碑坝基底隆起南侧的孔隙沟—楠木树—尖碛子沟一带展布, 长大于 20 km , 宽 $60\sim 300\text{ m}$, 分为孔隙沟、冷青坡、楠木树、九岭子、尖碛子沟5个铅锌矿段, 已圈出了40余条铅锌矿体。

楠木树矿段: 地表矿化角砾岩带呈北东东向展布, 长大于 $3\ 000\text{ m}$, 宽 $60\sim 230\text{ m}$ 。共圈出5条锌矿体, 3条铅锌矿体, 2条铅矿体。矿体长 $100\sim 2\ 560\text{ m}$, 厚度 $0.80\sim 13.14\text{ m}$, 锌品位 $1.05\%\sim 13.09\%$, 铅品位 $0.60\%\sim 4.12\%$ 。楠木树1号锌矿体(图3、图4), 地表长 $2\ 560\text{ m}$, 厚 $1.46\sim 32.53\text{ m}$, 平均厚约 7.60 m , 最厚 28.40 m , 品位 $\text{Zn } 1.45\%\sim 11.42\%$, 平均 4.47% 。矿体呈似层状、透镜状。钻探发现深部存在多条盲矿体。

九岭子矿段: 位于楠木树矿段东侧, 地表含矿角砾岩带长大于 $4\ 300\text{ m}$, 宽 $100\sim 300\text{ m}$ 。圈出了12条锌矿体, 5条铅矿体。矿体长 $110\sim 1\ 650\text{ m}$, 厚度 $0.80\sim 10.01\text{ m}$, 锌品位 $1.52\%\sim 10.82\%$, 铅品位 $0.55\%\sim 3.54\%$ 。

冷青坡矿段: 位于楠木树矿段西侧浦家沟—冷青坡一大院里之间, 长大于 6 km , 宽 $30\sim 250\text{ m}$, 目前圈出锌矿体3条, 铅锌矿体5条, 铅矿体1条。矿体长 $100\sim 780\text{ m}$, 厚度 $0.80\sim 1.70\text{ m}$, 锌品位 $2.31\%\sim 5.60\%$, 铅品位 $3.21\%\sim 7.54\%$, 最高 29.14% 。

孔溪沟矿段: 处于南矿带西端, 地表发现矿化角砾岩带长大于 6 km , 宽 $60\sim 250\text{ m}$ 的铅锌矿化角砾岩带, 圈出5条铅锌矿体, 长一般 $440\sim 1\ 685\text{ m}$, 平均厚 $2.31\sim 5.92\text{ m}$, 平均锌品位 $2.04\%\sim 6.10\%$ 。

尖碛子沟矿段: 位于南矿带东端, 含矿角砾岩带近EW向展布, 长 $2\ 600\text{ m}$, 宽 $20\sim 60\text{ m}$, 圈出2条铅锌矿体。矿体长 580 m 和 200 m , 厚 $1.53\sim 5.30\text{ m}$, 锌品位 $1.30\%\sim 9.40\%$; 铅品位 $2.77\%\sim 3.31\%$ 。

南矿带共获得 $333+334_1$ 类铅锌金属量 $\times\times\times$ 万t, 其中 333 类锌锌金属量 $\times\times$ 万t。锌平均品位 4.02% , 铅平均品位 4.16% 。其中 $\text{Zn } 1$ 楠木树矿段主矿体已估算 $333+334_1$ 类资源量 $\times\times\times$ 万t, 其中 333 类资源量 $\times\times$ 万t。锌平均品位 4.17% 。

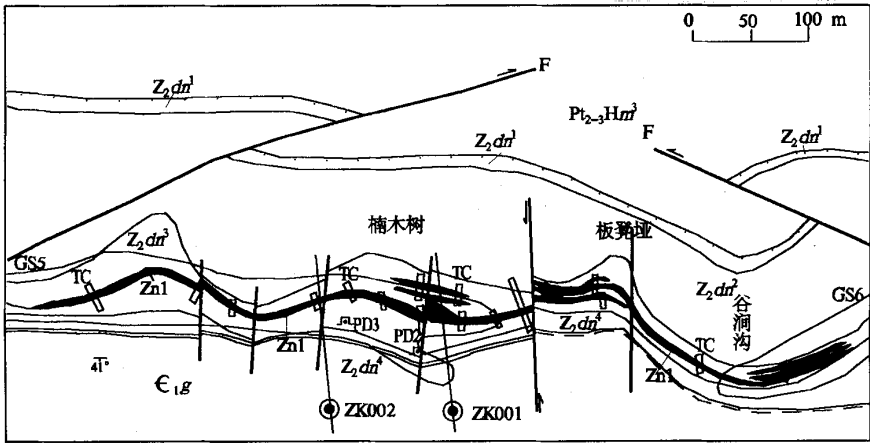


图 3 楠木树铅锌矿段地质略图

Fig. 3 Sketch map showing geology of the Nanmushu lead-zinc ore portion

Pt₂₋₃Hm³. 中上元古界火地垭麻窝子组大理岩；Z₂dn¹. 震旦统灯影组第一岩性段砂岩、含砾砂岩；Z₂dn². 灯影组第二岩性段层纹状藻屑白云岩；Z₂dn³. 灯影组第三岩性段厚层白云岩、角砾状白云岩；Z₂dn⁴. 灯影组第四岩性段含燧石条带状白云岩；E_{1g}. 下寒武统郭家坝组碳质板岩、含碳粉砂质板岩；F. 断层；Zn1. 矿体及编号；GS5. 激电异常及编号；ZK001. 见矿钻孔位置及编号；PD5. 平洞位置及编号；TC. 探矿工程位置

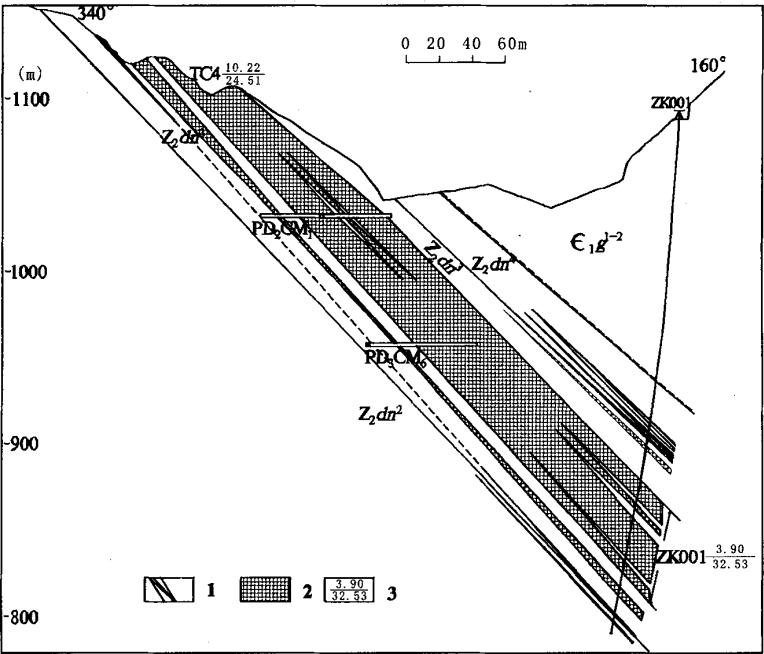


图 4 楠木树铅锌矿段 ZK001 剖面图

Fig. 4 Section of ZK001 in the Nanmushu lead-zinc ore block

E_{1g}¹⁻². 下寒武统郭家坝组碳质板岩；Z₂dn². 灯影组第二岩性段层纹状藻屑白云岩；Z₂dn³. 灯影组第三岩性段厚层白云岩、铅锌矿化角砾状白云岩；Z₂dn⁴. 灯影组第四岩性段含燧石条带状白云岩；1. 铅矿体；2. 锌矿体；3. 矿体品位/厚度

3.1.2 东矿(化)带

处于碑坝基底隆起东侧的南岸山—东山坪—松坪及观音庵一带。

南岸山—东山坪矿段:长大于30 km,宽10~160 m,经地表稀疏的槽探揭露和追索工作,发现了长大于10 km的矿化角砾岩带和东山坪、南岸山两个富集区段,圈出4条铅锌矿体。矿体长一般100~500 m,平均厚1.35~8.00 m,锌品位1.48%~3.04%,铅品位2.75%~11.74%。

麻地坪—刘家坪—东山坪地段的角砾状白云岩中也发现了铅锌矿(化)体。

观音庵铅锌矿段:发现含矿角砾岩带长1 890 m,宽大于60 m,并在其上部的角砾状白云岩中发现了铅锌矿化,赋矿层位及矿化基本特征与南矿化带大致相同。初步圈出3个铅矿体,矿体长100~1 200 m,厚1.20~2.02 m,铅品位1.18%~2.29%,锌品位0.2~1.19%。

3.1.3 北矿(化)带

沿西河—麻地坪一带呈近EW向展布,长大于10 km,宽10~50 m,经少量路线踏勘,已发现了铅锌矿化线索。矿体沿倾向受控矿岩性层—砾屑白云质构造角砾岩(角砾岩)制约,矿(化)体在三度空间展布较稳定,除上面所述沿走向较稳定外;厚度随砾屑白云质角砾岩层厚度变化而变化,角砾岩发育、角砾岩层厚度大则矿体厚度也大;钻探深部控制矿体500余m深处,矿体的厚度、品位、矿化特征等均无显著变化,反映矿体向深部延伸较稳定。总体上,层状砾屑白云岩带均有不同程度的铅锌矿化(伴有重晶石化和沥青产出),表现为矿化集中于砾屑白云岩、受灯影组控制的层控特点。

3.2 矿石

矿石矿物主要有闪锌矿、方铅矿,少量黄铁矿、辉银矿。脉石矿物有白云石、方解石、石英、重晶石、萤石、沥青等。氧化矿物主要有褐铁矿、菱锌矿、异极矿。铅锌矿化只发生在胶结物中,白云岩角砾及矿带两侧白云岩干净无明显矿化。

闪锌矿呈棕红色,粒度中—粗粒,多数为0.1~1.0 mm,部分可达5 mm。粒度较细微者以他形晶为主,而粒度相对较粗者为半自形—自形晶。闪锌矿呈密集堆积、浸染状等或呈层纹状、条带状充填于白云岩角砾间或水晶洞中。方铅矿的含量相对闪锌矿少,呈自形、半自形、他形晶结构,呈单晶或

集合体产出,粒度较闪锌矿粗大,一般为0.1~2 mm,部分可达15 mm。白云石是灯影组白云岩角砾和胶结物中最主要的矿物成分。重晶石主要呈脉状、团块状以胶结物形式并常常切穿闪锌矿充填于角砾间,沥青(照片1、2)常在矿体内及其上盘呈乳滴状出现。矿石中有机质有多种赋存状态,均匀地分布于矿物的晶内、粒间;聚结于岩石角砾或碎屑的边缘;呈细脉状分布于岩石的裂隙、同生构造滑动面中;分布白云岩溶蚀重结晶的晶洞内。

矿石结构自形、半自形中细粒结构,次有它形粒状结构。矿石构造以角砾状(照片3、4、5、6)为主、其次有块状、条带状(照片7)、脉状、网脉状(照片8)、浸染状、斑团(点)状。角砾状矿石两侧为沿裂隙充填的脉状、网脉状矿石。角砾状矿石的角砾成分主要为灯影组白云岩、硅质白云岩。角砾大小不一(一般0.1~20 cm,大者50 cm以上)。角砾呈不规则状、长条状、椭球状等形态,有的角砾呈撕裂状或波状弯曲塑性变形。角砾磨圆度较差,呈棱角状、次棱角状居多,少部分为次圆状,角砾本身无矿化,无明显蚀变。孔隙沟矿段具溶蚀角砾、角砾退色边等现象,溶蚀角砾表现为由重晶石、方解石等胶结物包围白云岩质角砾。胶结角砾的基质以灯影组白云岩粉末、闪锌矿、方铅矿为主,其次是石英、有机质、黄铁矿、重晶石、方解石等多种成分的混杂物。

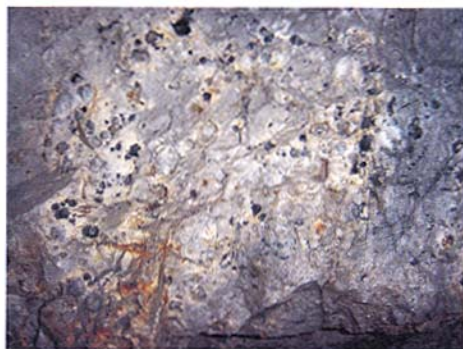
矿石化学成分中钙、镁质较高,一般CaO 15.0%~27.0%,MgO 13.0%~25.0%,CO₂ 1.0%~30.0%,SO₃ 3.0%~10.0%,SiO₂ 1.0%~11.0%,有机质0.5%~3.0%,TFe 0.5%~1.5%,其余组分小于5%。矿石中除Pb、Zn外,还伴生有益元素Ag、Ge、Cd、Cu等,一般含量Ag 2×10^{-6} ~ 35×10^{-6} ,Ge 0.002%~0.05%,Cd 0.002%~0.10%,Cu 0.03%~0.35%。在空间分布上,南矿带以Zn为主,伴生Ge、Cu;中矿带以Pb为主,伴生Cd、Ag。一般Zn与Ge、Pb与Cd、Ag成明显正相关。

矿石类型主要为重晶石—白云石—闪锌矿型锌矿石、重晶石—白云石—方铅矿—闪锌矿型铅锌矿石和重晶石—白云石—方铅矿型铅矿石3种类型。

南带以闪锌矿(±方铅矿)+重晶石+沥青为主,呈现富锌贫铅的矿化特点,为一低温、富锌、富钡、富含沥青的成矿组合;中带(南岸山为代表)以



照片 1 沥青



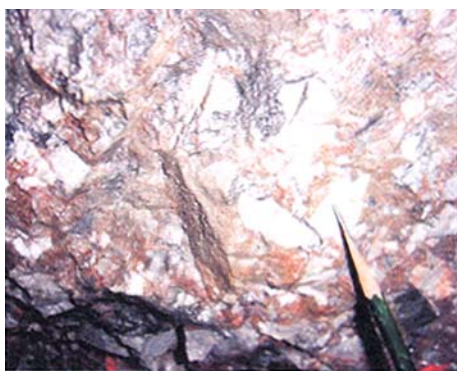
照片 2 沥青



照片 3 角砾状铅锌矿石



照片 4 角砾状铅锌矿石



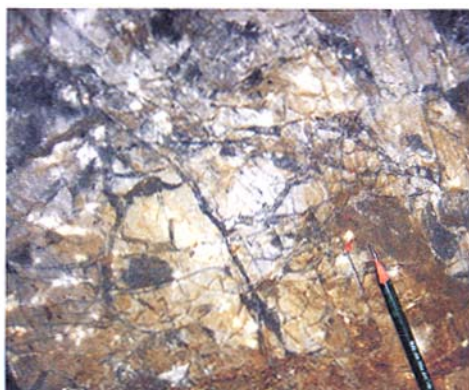
照片 5 角砾状铅锌矿石



照片 6 角砾状铅锌矿石



照片 7 条带状铅锌矿石



照片 8 脉状、网脉状矿石

重晶石+方铅矿(±闪锌矿)+沥青为主,呈现富铅贫锌的矿化特点,呈低温、富铅、富钡、富含沥青的组合。

3.3 围岩蚀变

围岩蚀变在矿区不发育,仅在个别地段出现围岩蚀变现象,且规模小、强度弱。显示成矿作用以充填作用为主的特点。

围岩蚀变类型有白云岩化、弱硅化、重晶石化、炭化,少量萤石化蚀变,地沥青普遍发育。重晶石化和硅化主要以胶结物形式与闪锌矿等同时充填于角砾及裂隙间,对角砾无明显的交代蚀变现象。地沥青主要表现为以气液溶蚀作用为特点,常在矿体内及其上盘附近形成密集的圆形小孔洞,沥青质呈水滴状嵌布于沿洞壁生长的水晶晶簇之间。

3.4 矿石可选性能

经矿石可选性能试验,该矿石矿物成分简单,主要回收矿物为闪锌矿和方铅矿,采用一般浮选工艺,其选矿工艺流程简单。原矿经一次粗选,二次精选,二次扫选可获锌精矿品位53.4%,回收率达90.21%。

4 成因初探及矿床类型

4.1 成矿物质来源

4.1.1 金属来源

对扬子北缘主要成矿元素Pb、Zn、Ba在基底及灯影组岩石中的丰度进行了初步统计,其结果见表1、表2。由表可知:区内主要成矿元素Pb、Zn在灯影组白云岩中其平均值均低于地壳克拉克值,而基底岩(Pt₂₋₃H)背景含量明显较高,一般高出克拉克值3~12倍,反映了基底岩系可能为成矿元素Pb、Zn的主要来源。成矿元素Pb、Zn在澄江期花岗岩中背景含量明显也较高,一般高出克拉克值2~4倍,反映了澄江期花岗岩可能为成矿元素Pb、Zn的来源之一。

灯影组下段第一岩性层W、Ba相对较高。而在灯影组白云岩和寒武系碳质板岩(∈_{1g})中Ba含量普遍较高、反映了Ba²⁺离子经过沉积成岩作用而得到了富集。

表1 扬子台台北缘地层岩石成矿元素丰度统计表

Tab.1 Metallogenic element abundance in strata of the northern margin of the Yangtze platform

序号	地层岩石名称	岩性(样数)	元素背景含量(×10 ⁻⁶)			备 注
			Pb	Zn	Ba	
1	郭家坝组(∈ _{1g})	炭质板岩(13)	22	66	1 207	①Pt ₂₋₃ bk引自翟刚毅(1998) ②平均值均采用加权平均求得 ③地壳克拉克值引自黎彤(1989) ④花岗岩资料采用单翔麟(1983)
2	灯影组(Z ₂ dn)	砂岩、白云岩(105)	12	71	163	
3	火地垭群(Pt ₂₋₃ H)	大理岩(2)	50	300	100	
4	碧口群(Pt ₂₋₃ bk)	变火山岩(60)	18	124		
5	花岗岩(γ ₂₋₃)	花岗岩(2)	30	60		
6	基底岩系(平均)	(64)	19	128		
7	澄江期花岗岩	含霓石碱性花岗岩	35	325		
8	澄江期花岗岩	碱性花岗岩	6	45		
9	地壳克拉克值		15	86		

表2 震旦系成矿元素地球化学丰度值统计表

Tab.2 Geochemical abundance of metallogenic elements in the Sinian system

序号	地 层 名 称	样品个数	元素背景含量(×10 ⁻⁶)			
			Pb	Zn	Ba	W
1	灯影组上段第二岩性层(Z ₂ dn ²⁻²)	6	12	85	100	83
2	灯影组上段第一岩性层(Z ₂ dn ²⁻¹)	49	9	74	123	72
3	灯影组下段第二岩性层(Z ₂ dn ¹⁻²)	44	13	72	128	54
4	灯影组下段第一岩性层(Z ₂ dn ¹⁻¹)	6	24	33	817	292
5	灯 影 组(Z ₂ dn)	105	12	71	163	78

4.1.2 铅来源

马元地区采集 5 件铅同位素样，其测定结果见表 3，在以²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pb 为端点的三角形图中，投影点分布集中于正常铅区间，在 400~700 Ma 正常铅演化曲线的近旁，各项同位素比值较稳定，μ 值

8.29~9.11，经用豪特曼斯公式计算模式年龄值为 420~637 Ma。矿石铅同位素组成及其特征值总体上介于下地壳与地幔之间（图 5）。综合分析认为，矿床中的原始铅主要来源于壳幔混合的造山带。

4.1.3 硫来源

表 3 铅同位素组成
Tab. 3 Plumbum isotope composition

样号	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	μ	模式年龄 (Ma)
1	17.79	15.62	38.04	0.88	8.29	637
2	17.88	15.49	37.57	0.87	8.86	420
3	17.62	15.54	38.07	0.87	8.96	498
4	17.95	15.62	37.87	0.87	9.09	521
5	18.02	15.63	38.35	0.87	9.11	487

注：中南矿产资源监督检测中心分析，2004。

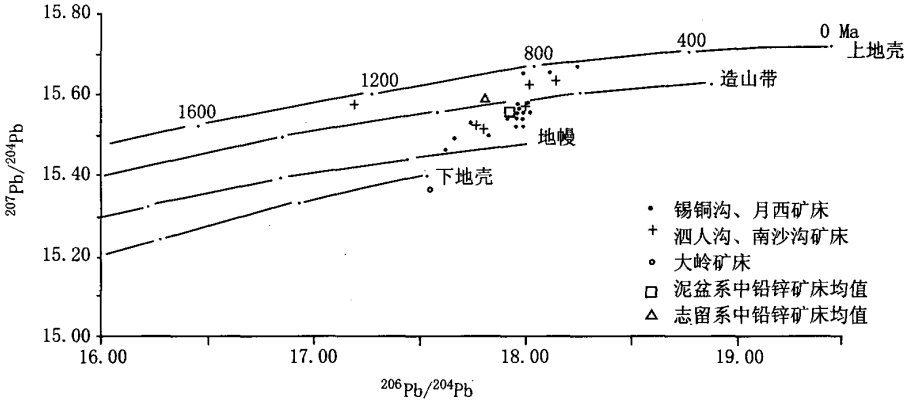


图 5 矿床矿石铅在全球铅构造演化模式图解
(据 B. R. doe 和 R. E. Zartman, 1979)

Fig. 5 Global plumbotectonic evolution model of ore lead of the deposit

区内 1985 年测定的方铅矿稳定同位素 δ³⁴S 结果为 10‰、8‰、12‰、14‰，明显的富集重硫，表明形成铅锌的硫可能来源于较闭塞的海盆中，由海水硫酸盐还原所提供。

2004 年采集硫同位素 5 件样品（表 4），分别采集闪锌矿 2 件、方铅矿 1 件、重晶石 3 件，δ³⁴S 分析结果分别为 18.22‰、17.94‰、12.94‰、32.2‰、33.33‰、33.48‰。闪锌矿、方铅矿、重晶石矿物中的 δ³⁴S 值是成矿热卤水中的原始 δ³⁴S 值经过生物分馏、物化条件变化分馏等作用后最终形成的结果。

1985 年在马元地区采集的方铅矿中的 δ³⁴S 值

和本次分析值都介于 8‰~14‰，重晶石中 δ³⁴S 值远远高灯影组中硫酸盐的值，为 32.2‰~33.48‰，明显富集³²S，这种条件下不仅形成 δ³⁴S 高值的硫酸盐，而且形成较成矿溶液中 δ³⁴S 低的硫化物。

与凤太、山柞旬泥盆系盆地铅锌矿床进行比较（图 6）可以看出，马元地区铅锌矿中硫同位素组成基本与锡铜沟、月西铅锌矿床相似；与旬阳地区、凤太、山柞泥盆系盆地铅锌汞锑矿床中硫同位素组成有明显差异。

4.1.4 稀土元素特征

采集了富矿角砾岩、矿化角砾岩、矿化角砾状

表 4 硫同位素组成

Tab. 4 Sulfur isotope composition

样号	采样地点	采样位置	样品特征	$\delta^{34}\text{SCDT} (\text{‰})$
MWT1	楠木树 TC16	闪锌矿矿石	闪锌矿	18.22
MWT2	楠木树 TC16	重晶石脉	重晶石	32.2
MWT3	楠木树 PD ₂ 主巷	闪锌矿矿石	闪锌矿	17.94
MWT4	南岸山屠家梁采矿场	重晶石方铅矿矿石	方铅矿	12.94
MWT5	朱家河	重晶石方铅矿点	重晶石	33.33
			重晶石	33.48

注：国土资源部中南矿产资源监督检测中心分析，2004。

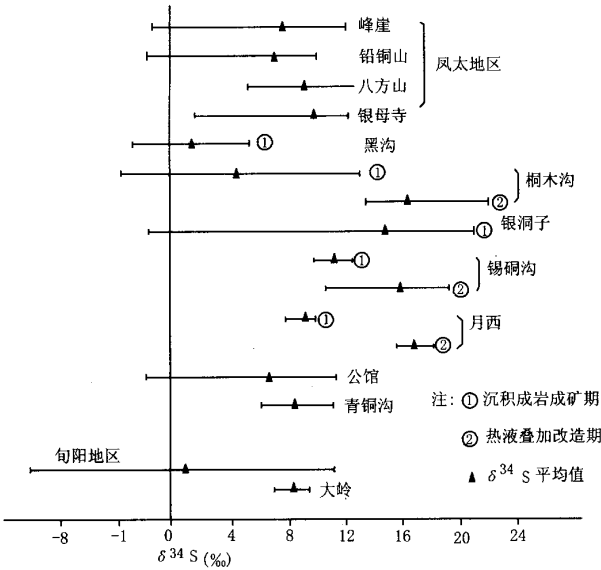


图 6 硫同位素组成

Fig. 6 Sulfur isotope composition

白云岩、含沥青大理岩化白云岩、无矿化砾屑白云岩、灰色白云岩、重晶石方铅矿闪锌矿化白云岩、砾屑白云岩等样品，其稀土元素分析结果及特征值见表 5。

从马元地区稀土元素分配模式图(图 7)中可以看出，矿体、围岩中轻稀土分异较明显，而重稀土分异不明显。

碑坝隆起基底凝灰质千枚岩和寒武系含碳板岩明显富集稀土元素，稀土总量分别为 106.3 和 131.8。灯影组砾岩(含沥青)其稀土总量为 19，说明灯影组底部相对灯影组富集了稀土元素，含沥青角砾岩、含沥青方铅矿闪锌矿化角砾状白云岩、富

矿角砾岩的稀土总量介于 12.5~15.3。大理岩化白云岩、灰色白云岩、砾屑白云岩、重晶石方铅矿闪锌矿化白云岩、重晶石脉的稀土总量分别介于 3.3~9.88。含矿岩石相对不含矿岩石富含稀土元素。砾屑白云岩的 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 值明显偏大，说明角砾岩中富集轻稀土元素，成矿物质经过了一定距离的搬运。

4.1.5 微量元素特征

通过岩石和矿石中的微量元素含量对比(表 6)，震旦系中的白云岩和铅锌矿矿石的 Co/Ni 值多集中在 0.6~1.2，属于沉积岩含量比值。初步认为矿石中的微量元素来源于成矿围岩。

表 5 马元地区稀土元素分析数据及参数表

Tab. 5 REE concentrations and their parameters of the Mayuan area

送检号	样 品 特 征	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
YT4	灯影组底砾岩，含沥青，具褐铁矿化	4.2	6.76	0.78	2.86	0.54	0.17	0.48	0.08	0.53	0.10
YT5	凝灰质千枚岩（基底岩石）	29.7	44.10	5.39	22.2	4.09	0.77	3.5	0.65	4.1	0.81
YT8	含沥青角砾岩（含角砾约 50%）	6.4	10.80	1.24	5.11	0.80	0.18	0.66	0.10	0.66	0.12
YT9	含沥青大理岩化白云岩	1.54	2.22	0.18	0.8	0.12	0.04	0.150	0.023	0.130	0.026
YT10	灰色白云岩（近矿化带）	1.50	2.32	0.31	0.98	0.18	0.05	0.230	0.040	0.290	0.061
YT11	重晶石（网脉状）方铅矿闪锌矿化白云岩	1.40	2.10	0.25	1.01	0.16	0.06	0.230	0.040	0.260	0.061
PD2YH2	砾屑白云岩（含浅色砾和暗色砾）	3.31	3.96	0.20	1.00	0.19	0.04	0.15	0.023	0.150	0.031
PD2YH3	方铅矿闪锌矿化角砾状白云岩，含沥青	4.3	5.02	0.57	2.14	0.43	0.11	0.42	0.040	0.360	0.068
PD2YH4	无矿化砾屑白云岩（厚层块状）	2.46	2.57	0.26	0.91	0.23	0.037	0.140	0.023	0.130	0.027
PD2YH5	较纯重晶石脉	0.98	0.950	0.110	0.33	0.092	0.018	0.260	0.040	0.230	0.043
PD2YH6	闪锌矿化角砾岩，含沥青多（斑点状）	1.86	2.67	0.210	0.67	0.10	0.025	0.084	0.017	0.120	0.032
PD2YH7	富矿角砾岩（锌含量约 15%）	5.4	6.08	0.31	1.46	0.210	0.058	0.290	0.040	0.190	0.049
PD2YH12	含碳板岩（寒武系）	35.0	57.10	6.33	27.6	4.84	0.9	3.2	0.48	2.67	0.50
	球粒陨石	0.3	0.84	0.12	0.58	0.21	0.074	0.3	0.049	0.31	0.073
送检号	样 品 特 征	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	$\frac{\Sigma LREE}{\Sigma HREE}$	La/Yb
YT4	灯影组底砾岩，含沥青，具褐铁矿化	0.30	0.04	0.220	0.026	2.30	19.35	15.3	4.08	3.75	18.91
YT5	凝灰质千枚岩（基底岩石）	2.71	0.36	2.56	0.28	22.1	143.28	106.3	37.03	2.87	11.60
YT8	含沥青角砾岩（含角砾约 50%）	0.36	0.05	0.28	0.038	2.81	29.60	24.5	5.08	4.83	22.82
YT9	含沥青大理岩化白云岩	0.06	0.01	0.05	<0.01	1.81	7.15	4.9	2.26	2.17	32.77
YT10	灰色白云岩（近矿化带）	0.18	0.02	0.120	0.014	1.49	7.79	5.3	2.45	2.18	12.50
YT11	重晶石（网脉状）方铅矿闪锌矿化白云岩	0.18	0.03	0.091	0.011	1.44	7.32	5.0	2.34	2.13	15.38
PD2YH2	砾屑白云岩（含浅色砾和暗色砾）	0.07	0.01	0.049	<0.01	0.69	9.88	8.7	1.18	7.40	67.55
PD2YH3	方铅矿闪锌矿化角砾状白云岩，含沥青	0.23	0.04	0.190	0.038	2.34	16.27	12.5	3.73	3.36	22.47
PD2YH4	无矿化砾屑白云岩（厚层块状）	0.08	0.01	0.030	<0.01	0.79	7.70	6.5	1.23	5.26	82.00
PD2YH5	较纯重晶石脉	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	0.19	3.30	2.5	0.82	3.02	
PD2YH6	闪锌矿化角砾岩，含沥青多（斑点状）	0.08	0.01	0.074	0.014	1.06	7.02	5.5	1.49	3.71	25.14
PD2YH7	富矿角砾岩（锌含量约 15%）	0.13	0.02	0.130	0.023	0.87	15.26	13.5	1.74	7.76	41.54
PD2YH12	含碳板岩（寒武系）	1.35	0.20	1.31	0.18	10.8	152.52	131.8	20.73	6.36	26.72
	球粒陨石	0.21	0.033	0.2	0.031	2	5.42	2.12	3.21	0.66	1.50

注：西安综合岩矿测试中心，2004；元素含量为 $\times 10^{-6}$ 。

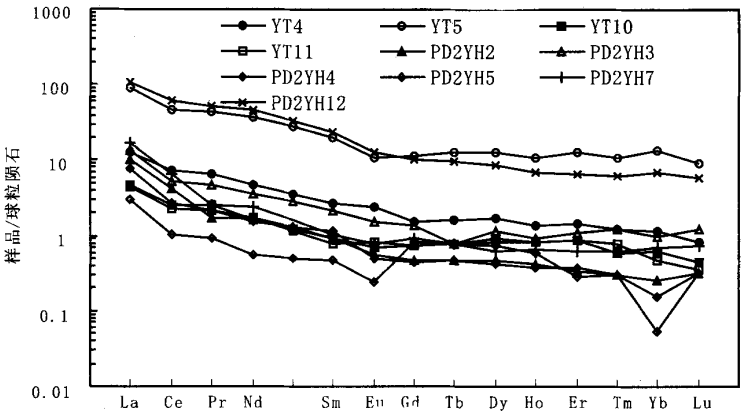


图 7 马元地区稀土元素分配模式图

Fig. 7 REE distribution patterns in Mayuan area

YT4. 灯影组底砾岩, 含沥青, 具褐铁矿化; YT5. 凝灰质千枚岩 (基底岩石); YT10. 灰色白云岩 (近矿化带); YT11. 重晶石 (网脉状) 方铅矿闪锌矿白云岩; PD2YH2. 砾屑白云岩 (含浅色砾和暗色砾); PD2YH3. 方铅矿闪锌矿化角砾状白云岩, 含沥青; PD2YH4. 无矿化砾屑白云岩 (厚层块状); PD2YH5. 较纯重晶石脉; PD2YH7. 富矿角砾岩 (锌含量约 15%); PD2YH12. 含碳板岩 (寒武系)

表 6 微量元素分析结果表

Tab. 6 Trace element analyses results

样号	岩石名称	Rb	V	Ti	Ba	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Ga	Sr
YH4	灯影组底砾岩, 含沥青, 具褐铁矿化	9	11	157	196	56	18	42	3	3	70	2	57
YH5	凝灰质千枚岩 (基底岩石)	121	149	6208	854	46	11	37	4	5	135	19.0	8
YH8	含沥青角砾岩 (含角砾约 50%)	20	14	414	98	44	10	18	5	4	71	2	30
YH9	含沥青大理岩化白云岩	6	10	85	27	41	9	17	3	2	28	2	30
YH10	灰色白云岩 (近矿化带)	7	12	47	25	98	106	16	3	3	1068	2	38
YH11	重晶石(网脉状)方铅矿闪锌矿白云岩	7	10	42	30	1000	301	13	2	2	1579	2	26
PD2YH2	砾屑白云岩 (含浅色砾和暗色砾)	6	11	91	38	44	606	13	2	2	133	2	36
PD2YH3	方铅矿闪锌矿化角砾状白云岩, 含沥青	7	9	45	95	56	1000	14	3	3	95	2	26
PD2YH4	无矿化砾屑白云岩 (厚层块状)	6	10	38	24	64	1000	11	3	2	81	2	32
PD2YH5	较纯重晶石脉	6	460	1321	10000	7	1000	26	2	2	25	2	1706
PD2YH6	闪锌矿化角砾岩, 含沥青多 (斑点状)	7	11	37	1478	43	1000	25	3	3	114	2	34
PD2YH7	富矿角砾岩 (锌含量约 15%)	9	10	42	578	36	1000	129	4	5	210	6.80	30
PD2YH12	含碳板岩 (寒武系)	100	199	5926	4203	45	719	19	14	5	34	20.3	97

注: 西安综合岩矿测试中心, 2004; 含量为 $\times 10^{-6}$ 。

4.2 流体性质

据矿石中矿物包裹体特征 (表 7): 闪锌矿中流体包裹体成分主要为水、无机盐 (单一的盐水包裹体含量在 65%~95%), 次有少量 CH₄、CO₂ (此类包裹体含量 5%~30%), 属于 NaCl-H₂O 体系; 石英、方解石中流体包裹体成分仍以水、无机盐为主, 次有少量 CH₄、CO₂, 流体类型属于 NaCl-H₂O 体系。重晶石包裹体中除以上成分外还含有少量 H₂S, 属

于 Na-Ca-Cl-H₂O 体系。总体上成矿流体为 NaCl-H₂O 体系。包裹体中的流体成分进一步印证了 Pb、Zn、Ba 成矿元素成矿过程有有机质成分参与。

成矿溶液富含矿质、有机质。沥青与闪锌矿、方铅矿、重晶石等矿物相伴共生, 反映出成矿溶液富含有机质的沉积成矿特点。据研究, 石油在 50~150℃ 形成, 随温度升高 (高于 150℃) 就会逐渐热解, 最终分解成简单的烃类, 如 CH₄ 及沥青和 H₂S、CO₂ 气

表7 包裹体特征

Tab. 7 Characteristics of inclusion

样品号	产地	矿物	包裹体类型	形态	分布状态	大小 (μm)
MBT1	楠木树	Sp	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	米粒状、不规则状为主，多边形为次	小群状或自由状，少量沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	0. n~15
			$\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ (含少量 CO_2 、 CH_4)	椭圆形、多边形	沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	3~10
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{O}}$	椭圆形、多边形，次负晶形、不规则状	小群状为主，部分沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	2~15
MBT1	楠木树	Q	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	米粒状为主，次为不规则状、多边形	小群状或自由状，少量沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	0. n~15
			$\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ (含 CO_2 、 CH_4)	椭圆形、多边形、次负晶形	沿 Q 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	3~9
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{O}}$	椭圆形、多边形，次负晶形、不规则状	小群状为主，部分沿 Q 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	2~15
MBT2	楠木树	Br	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	米粒状、圆形为主，次为不规则状、多边形、椭圆形	裂隙、群状、串状、自由状，或与其他包裹体混生一起	0. n~25
			$\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ (含 CO_2 、 CH_4)(1类)	规则状，方形、椭圆形、负晶形	裂隙、串状，部分群状、自由状，或与其他包裹体混生一起	—
			$\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ (含 CO_2 、 CH_5)(2类)	不规则状，多边形、长条状	裂隙、串状，部分群状、自由状，或与其他包裹体混生一起	—
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{S}}$	椭圆形、椭圆形，次负晶形、不规则状	小群状为主，部分沿 Q 微裂隙分布	4~15, 6~10 为主
MBT3	楠木树	Sp	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	米粒状为主，椭圆形、多边形为次	小群状或自由状，少量沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	0. n~15, 2~10 为主
			$\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ (含少量 CO_2 、 CH_4)	椭圆形、次负晶形、多边形	沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	2~13
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{O}}$	椭圆形、多边形，次负晶形、不规则状	小群状为主，部分沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	2~16, 4~13 为主
MBT3	楠木树	Cal	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	椭圆形、负晶形为主，次为多边形、不规则状	小群状或自由状，少量沿 Sp 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	0. n~15
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{O}}$	长方形、多边形为主，次负晶形、不规则状	裂隙、群状、串状、自由状，或与其他包裹体混生一起	2~18, 4~12 为主
MBT4	南岸山	Br	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	米粒状、不规则状为主，次多边形、负晶形、不规则状	小群状或自由状，少量沿 Br 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	0. n~15
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{O}}$	椭圆形、多边形，次负晶形、不规则状	小群状或自由状，少量沿 Br 微裂隙分布，或与其他包裹体混生一起	2~16, 4~10 为主
MBT5	朱家河	Br	$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$	米粒状、不规则状为主，次多边形、负晶形、不规则状	裂隙、串状，次群状、自由状，或与其他包裹体混生一起	0. n~20
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{O}(2)}$			
			$\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{V}_{\text{H}_3\text{S}}$	圆形、椭圆形，次负晶形、不规则状	沿 Q 微裂隙串状分布	3~10, 6~9 为主

注：宜昌地质矿产研究所测定，2004；测定所使用的仪器及精度：德国 Leitz 厂生产的 ORTHOPLAN 偏光显微镜；英国 Linkam 生产的 THMSG600 地质型显微冷热台 0~600℃ 的精度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ；0~-196℃ 的精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

体等，油气溢出而沥青最终保留下来，成矿温度在 150℃以上。

闪锌矿、石英矿物中的单相气体包裹体（少量 ~5%）可能含有少量的 CO₂、CH₄ 等成分，包裹体大小为 3~9μm；形态呈椭圆形、多边形和负晶形；分布特点多沿闪锌矿和石英的显微裂隙分布，与其他类型包裹体混合伴生。这一现象说明矿物在形成时有大量的有机质分解气体存在。

重晶石矿物中含 H₂S 两相包裹体，占包裹体总量的 5%左右；包裹体大小在 3~15μm，以 6~9μm 为主；形态以圆形、椭圆形为主，其次是负晶形和多边形；分布特点多数沿重晶石的显微裂隙呈线状、串珠状分布。说明重晶石形成时地层中含有 H₂S 气体。

矿物包裹体中的盐度变化较大（表 8），介于 7.2%~19.5%，是正常海水的 3~5 倍，盐水密度 0.933~1.068 g/cm³，与正常海水密度接近。据此推测成矿流体为热卤水性质。

4.3 成矿温度、压力和深度

在马元铅锌矿区共采集包体测温样品 5 个（表

8），由宜昌地质矿产研究所采用德国生产的 ORTHOPLAN 偏光显微镜和英国生产的 THMSG600 地质型显微冷台对流体包裹体进行了测定。测定包体选择的矿物有闪锌矿、石英、重晶石、方解石，流体包体形态有单相盐水溶液、单相气体包裹体、两相盐水溶液包裹体，其中以单相盐水包裹体为主、次为两相盐水溶液包裹体、单相气体包裹体少量。其形态有椭圆形、圆形、多边形、不规则形等。测得均一温度在 130~210℃。压力 364~582 Pa，其形成深度 1.21~1.94 km。具有低压浅成成矿特点。

方铅矿-重晶石-沥青的矿物组合反映闪锌矿、方铅矿成矿的中低温特点；沥青的大面积分布（广泛分布于角砾岩岩层中）和沥青的大量出现，以及沥青的裂隙状、梅花状构造和沿裂隙充填的特点，不仅反映出沥青应为沉积成因特点，同时亦反映出成矿的低温特点。可能原生（同沉积）沥青是在有机质经热降解等作用下（地热增温）形成的。

表 8 矿物包裹体温度和压力

Tab. 8 Temperature and pressure of the gas phase of mineral inclusion

样品编号	位置	矿物	盐度(%)	含量(%)	密度(g/cm ³)	成矿压力(×10 ⁵ Pa)	均一温度(℃)	深度(km)
MBT1		闪锌矿	9.2~10.0	20	0.969~0.986	427~483	155~175	1.43~1.61
		石英	7.6~8.0	15	0.915~0.958	465~575	170~210	1.55~1.92
MBT2	楠木树	重晶石	8.5~8.7		0.946~0.969	439~494	160~180	1.46~1.65
			11.5~12.0		1.012~1.029	388~416	140~150	1.29~1.38
MBT3		闪锌矿	10.0~10.2	25	0.933~0.974	467~580	170~210	1.56~1.93
		方解石	7.2~8.6	45	0.968~0.975	394~481	145~175	1.32~1.60
MBT4	南岸山	重晶石	18.2~19.5	45	1.045~1.068	364~476	130~170	1.21~1.58
MBT5	朱家河	重晶石	17.0~17.5	15	1.045~1.068	391~475	140~170	1.21~1.58
			10.2~11.5	15	0.933~0.965	497~582	180~210	1.65~1.94

注：宜昌地质矿产研究所测定，2004；测定所使用的仪器及精度：德国 Leitz 厂生产的 ORTHOPLAN 偏光显微镜；英国 Linkam 生产的 THMSG600 地质型显微冷台 0~600℃的精度为±2℃；0~-196℃的精度为±0.5℃。

4.4 成矿时代

关于扬子地台周边铅锌矿形成时代有多种认识，张立生(1998)认为扬子地台周边及隆起边缘的铅锌矿床赋存于灯影组中，推断其形成时间大概为晚二叠世；杨应选等(1994)将川西和滇东北碳酸盐岩层中铅锌矿床形成时代定为华力西期；还有人认为会泽铅锌矿床形成于燕山期或喜马拉雅期。

依据地质构造形成的时间及控矿机理、地层控矿特点，笔者认为成矿初期应开始于震旦纪晚期，在

寒武纪至燕山期，随着地壳运动，沿同生角砾岩带形成顺层或斜切地层的断裂构造，在热液作用下 Pb、Zn、Ba 等成矿物质进一步活化富集运移，形成了构造角砾岩型矿体。含矿白云质构造角砾岩带和铅锌矿体分布于碑坝穹隆周边，燕山期区域发生大的构造运动，形成了碑坝穹隆。而矿层随穹隆翼部地层的褶皱而褶皱，说明矿层形成时间应早于燕山期褶皱构造运动。依据铅锌矿均产于震旦纪灯影组，矿化与特定岩性层密切相关（即灯影组角砾状白云岩为大

的含矿层位,白云质构造砾岩是主要的赋矿岩石)、铅锌矿化同沥青有机质密切相关。初步推断矿床形成的初期应始于震旦纪灯影世晚期。铅锌矿中铅同位素研究资料成矿年龄(铅模式年龄)为 420~637 Ma,晚于赋矿围岩形成的地质时代。

4.5 矿床成因及类型

自 20 世纪 80 年代以来,关于本区铅锌成矿因素及富集规律的研究方面一直分歧较大。如巩章禄、侯明伟对产于盖层碳酸盐岩中铅锌矿床,提出了沉积-改造的成因观点,并将其划分为轻微改造和强烈改造两个亚类,这种观点强调同生沉积的重要意义;而王则江则以大梁子、天宝山等矿床为实例,认为成矿与冷水岩溶堆积作用有关,而对其穿层现象和多样化的产状形态等则以后期叠加改造来解释;沈苏等人认为同生作用是本区铅锌成矿的主要作用,并认为华力西期和印支-燕山期的基性和酸性岩浆作用,对铅锌矿的改造和再富集也起了较大的作用;曾忻耕在较早期也主张沉积-改造成矿,认为灯影组下部的厚大的切层柱状矿体是由于上面的层状同生型矿体改造淋滤而成,但在稍后对改造作用的动力和物质来源又提出了新的看法,认为裂谷地壳成穹作用,对于铅锌矿的改造和再富集具有重要意义;而

周济元、李承德等人则认为康滇南北向构造带中,相对隆起的西部和相对洼陷的东部,铅锌矿的成矿特征及矿床类型有明显的不同。西部隆起区内生成矿作用较强,而东部洼陷区则沉积成矿作用较强;王奖臻(2001,2002)、刘文周(2002)等人的看法与上述各家有所不同,他们认为产于灯影组的铅锌矿属典型的密西西比型,具有明显的后生特征,但有人认为矿床的形成曾经历了沉积-成岩期的初步富集和后生叠加成矿两个富集阶段,后生期成矿物源主要来自就近的地层,部分来自深源,并认为较合适的成矿模式为混合成因模式。芮宗瑶等(2004)认为扬子克拉通周边及其隆起边缘碳酸盐岩中的铅锌矿床可以与 MVT 矿床进行对比,但二者有差异,铅锌矿床为后生成因,不存在同生沉积的可能性;矿床形成是多期的、多源的和多成因的。

依据马元地区铅锌矿床地质特征有两点可以肯定,一是产于碳酸盐地层中,二是成矿时代晚于赋矿地层,矿化受白云质角砾岩控制,结合其他同位素、稀土、微量元素测试结果,经与国外 MVT 铅锌矿对比(表 9),初步认为区内铅锌矿类型类似于 MVT 型铅锌矿床,但有着明显的差异,人们称之为“台缘型”或“扬子型”铅锌矿。

表 9 马元铅锌矿与 MVT 型铅锌矿对比
Tab.9 Comparison of the Mayuan lead-zinc ore deposit and the MVT type lead-zinc ore deposit

特 征	MVT 型(密西西比)铅锌矿	马元 铅 锌 矿
构造位置	盆地边缘或其附近,或盆地间的穹窿处	扬子地台北缘碑坝穹窿构造翼部
沉积环境	浅海盆地	板内陆表海盆地
赋矿围岩	碳酸盐岩,尤其白云岩	灯影组,白云岩
与火山岩关系	多未见火山岩出露,容矿碳酸盐岩未受变质	含矿岩系内无火山岩,容矿碳酸盐岩未受变质
矿物组合	方铅矿和(或)闪锌矿,常伴有黄铁矿和(或)白铁矿	闪锌矿,少量方铅矿、黄铁矿
矿物充填方式	金属硫化物侵位于早先存在的孔隙内	金属硫化物充填于构造角砾岩带孔隙
成矿温度	80~200℃	85~210℃
成矿流体性质	高盐度的 Na-Ca-Cl 卤水(盐度是海水的 5~10 倍,海水盐度 S=3.0‰)	含有机质的热卤水,盐度为 7.6~12.0 wB%,含 H ₂ S、CO ₂
有机质	含沥青等有机质	常伴生有晶质沥青,气相包裹体中有 CH ₄
δ ³⁴ S 值	为重硫,值域很宽,海水成因	相对较集中,矿石中硫来源于海水
Pb 同位素	Pb 同位素数据一般与基底来源或被改造了的沉积物来源的 Pb 同位素数据一致	铅同位素数据大体和震旦系及其以前地层形成时代相同(420~637 Ma)
成矿模式	原生水在深部环流带出基岩中的金属元素,经搬运转移再沉淀而富集成矿	原生水在深部环流中,带出周围岩层中的矿化元素,形成含有机质的热卤水,并经搬运转移至有利空间而沉淀富集成矿

5 找矿方向

在扬子地块北缘区域成矿地质条件的基础上,结合控矿地质因素、矿化富集规律等矿床地质特征,主要依据控矿区域构造、控矿地层、地球化学异常、矿床及矿化点的分布进行找矿方向的预测,共预测出南郑马元、云河—庙坝、宁强阳平关—宽川铺—勉县阜川、司上一镇巴、镇坪等多个找矿远景区。

(1) 南郑碑坝—马元铅锌找矿远景区:位于南郑碑坝—马元一带,区域构造位置为碑坝隆起周缘,灯影组大面积出露,赋矿岩性砾屑白云岩发育,控矿地层、赋矿岩性等成矿条件极为有利;灯影组区有带状展布的铅锌异常($1:5$ 万水系沉积测量, $Zn > 80 \times 10^{-6}$)分布,且异常区分布区有多处铅锌矿床点,地球化学背景有利成矿;现已有数10处铅锌矿床(点)产出。楠木树铅锌矿已达超大型规模,表明该区具有很好的资源潜力,是找矿的重点区段,具形成超大型铅锌矿矿集区的潜力。我们按南矿带、东矿带分别估计资源潜力(北矿带暂不估计)。

南矿带共圈出估算资源量的铅锌矿体37条,已估算333+334₁类资源量 $\times \times \times$ 万t。由于地表氧化、深部控制不够等原因,资源量并未完全控制。①孔溪沟铅锌矿段圈出了9条锌铅矿体,已估算333+334₁类资源量 $\times \times$ 万t。该矿段控制矿体总长度3000m,估计矿体平均厚度4m,平均锌+铅品位5%,推斜深300m(下同),矿石密度2.80t/m³(下同),预测铅锌资源量约 $\times \times$ 万t。②冷青坡铅锌矿段圈出了5条锌铅矿体,已估算333+334₁类资源量6万t。该矿段控制矿体总长度3000m,估计矿体平均厚度4m,平均锌+铅品位5%,预测铅锌资源量约 $\times \times$ 万t。③楠木树铅锌矿段Zn1矿体已估算333+334₁类资源量 $\times \times \times$ 万t。Zn1东西端如继续控制,加上另外7条矿体,预测资源量 $\times \times \times$ 万t。④九岭子铅锌矿段圈出了13条锌矿体,已估算333+334₁类资源量 $\times \times$ 万t。该矿段控制矿体总长度10000m,估计矿体平均厚度4m,平均锌+铅品位5%,预测铅锌资源量约 $\times \times \times$ 万t。⑤尖砬子沟铅锌矿段圈出了7条锌铅矿体,已估算333+334₁类资源量2万t。该矿段控制矿体总长度4000m,估计矿体平均厚度3m,平均锌+铅品位5%,预测铅锌资源量约50万t。南矿带5个矿段若按上述

300m推斜深(已控制最大斜深460m),可预测铅锌资源量约 $\times \times \times$ 万t。若按600m推斜深,可预测铅锌资源量约 $\times \times \times \times$ 万t。

东矿带找矿工作程度较低,远景很大。①南岸山—东山坪矿段(南段)已发现4条铅锌矿体,矿段长度10000m,估计矿体总长度4000m,矿体平均厚度4m,平均锌+铅品位5%,推斜深300m,可预测铅锌资源量 $\times \times$ 万t。②麻地坪—九湾子矿段(北段)已发现2条铅锌矿体,矿段长度20000m,估计矿体总长度5000m,矿体平均厚度4m,平均锌+铅品位5%,推斜深300m,可预测铅锌资源量 $\times \times$ 万t。东矿带上述2个矿段可预测铅锌资源量 $\times \times \times$ 万t。

从东矿(化)带向东,铅锌矿化角砾岩带在寒武系之下以倾角0°~8°向东延伸5~10km,面积大于150km²。估计矿体平均厚度2m,平均锌+铅品位3%,矿石密度2.80t/m³,每平方千米可预测铅锌资源量16.8万t。

(2) 汉南古陆西缘云河—庙坝铅锌矿找矿远景区:该带位于汉南古陆西南边缘,大致呈近南东向沿汉南花岗岩体的西侧展布,带长大于50km,宽500~3000m,出露地层为灯影组,岩性有藻屑白云岩、条带状白云岩。已发现矿点两处,矿(化)体出露部位有一定规模的化探异常。在云河杨寺沟地表发现矿化角砾岩带长大于3000m,宽5~60m,已发现铅锌矿体2条,长分别为360m和120m,平均厚分别为6.5m和3.2m,平均锌品位1%~5%,平均铅品位3%~8%。该带向南经庙坝延到四川的盐井,基本控矿条件和碑坝—马元铅锌矿矿区类似,有形成大型铅锌矿的条件。

(3) 宁强阳平关—宽川铺—勉县阜川铅锌找矿远景区:位于宁强阳平关—宽川铺至勉县阜川一带,有利成矿的地层——灯影组断续出露,成矿地层条件较为有利;该区位于隐伏基底区分布区,是铅锌矿产出的可能地段;成矿环境和地质背景与南郑碑坝—马元铅锌矿相近,类比认为该区是寻找铅锌矿的又一找矿远景区。

(4) 司上一镇巴铅锌矿找矿远景区:沿镇巴隆起的司上一镇巴一带展布、呈近南东向,长大于60km,宽300~2000m,出露地层有灯影组,岩性为藻屑白云岩、条带状白云岩、砾屑白云岩。在构造带中见有底沥青化、重晶石化较强。有铅重砂异常

3处, 重晶石重砂异常1处, 矿点(铅铜湾)1处。该带未见前震旦系基底, 但古地理恢复表明灯影组这里为一个水下隆起带, 其基底岩系推断应属扬子地台北缘火山弧杂岩, 所以其应有较好的成矿条件。

(5) 镇坪铅锌矿找矿远景区: 陕西镇坪地区也分布着灯影组白云岩, 在以铅锌为主的化探综合异常内有铅锌矿化存在。

(6) 鄂西地区青峰强变形带、神农架断穹西部、黄陵断穹北部及咸丰背斜和长阳走马坪背斜等次级褶皱中: 区内铅锌成矿地质条件十分有利, 找矿前景良好。在竹溪—谷城一带(林长谦等, 2005)发现了朝阳、贵子沟、老公峪等多个铅锌矿床。

致谢: 本文主要是在中国地质调查局国土资源大调查项目成果的基础上总结而成, 在此对参加和参与项目的地质工作者表示谢意。

参考文献 (References):

- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨 [J]. 地质地球化学, 2001, 29 (2): 41-45.
- 王奖臻, 李朝阳, 李泽琴, 等. 川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21 (2): 50-60.
- 地矿部地矿司南岭铅锌矿专题组. 南岭地区铅锌矿床成矿规律 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985, 34-37, 74-85.
- 齐文, 侯满堂, 汪克明, 等. 陕西南郑马元一带发现大型层控型铅锌矿带 [J]. 地质通报, 2004, 23 (11): 1139-1142.
- 刘文周, 王奖臻, 李泽琴. 康滇地轴东缘铅锌矿床地球化学特征 [A]. 矿床地质, 2002, 21 (增刊): 173-176.
- 刘淑文, 魏宽义, 许拉平. 云南会泽铅锌矿田控矿构造体系及成矿预测 [J]. 西北地质, 2002, 35 (3): 84-89.
- 李泽琴, 王奖臻, 倪师军, 等. 川滇密西西比河谷型铅锌矿床成矿流体来源研究—流体 Na-Cl-Br 体系的证据 [J]. 矿物岩石, 2002, 22 (4): 39-42.
- 吴学益, 吴惠明, 李省芬. 扬子地块西南缘区域成矿的大地构造背景和矿床形成的构造控制 [J]. 矿物学报, 1997, 17 (4): 376-385.
- 张立生. 康滇地轴东缘以碳酸盐岩为主的铅锌矿床的几个地质问题 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 135-178.
- 宋小文, 侯满堂, 陈如意. 陕西省矿床成矿系列的初步划分 [J]. 陕西地质, 2003, 21 (2): 1-17.
- 宋小文, 侯满堂, 陈如意. 陕西省成矿区(带)的划分 [J]. 西北地质, 2004, 37 (3): 29-42.
- 邵世才, 李朝阳. 扬子地块西缘震旦系灯影组层控铅锌矿床的成矿规律及形成超大型矿床的可能性 [J]. 云南地质, 1996, 15 (4): 345-350.
- 芮宗瑶, 叶锦华, 张立生, 等. 扬子克拉通周边及其隆起边缘的铅锌矿床 [J]. 中国地质, 2004, 31 (4): 337-346.
- 杨应选, 柯成熙, 林方成, 等. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994, 74-93.
- 林长谦, 温礼琴. 湖北竹溪—谷城一带铅锌矿地质特征及找矿方向 [J]. 资源环境与工程, 2005, 19 (2): 76-82.
- LI Chaoyang, WANG Jiangzhen, Ni Shijun, et al. Na-Cl-Br systematics of mineralizing fluid in Mississippi valley-type deposits from southwest China [J]. J. Mineral. Petrol., 2002, 22 (4): 39~42 (in Chinese).
- LIN Changqian, WEN Liqin, MA Wnsheng. The characteristics of lead-zinc deposits along Zhuxi—Gucheng and the prospecting targets. Resources Investigation and Engineering. 2005, 19 (2): 76-82 (in Chinese).
- LIU Wenzhou, WANG Jiangzhen, LI Zeqin. Geochemical characteristics of lead-Zinc deposits at eastern margin of Kangdian Axis [A]. Mineral Deposits, 2002, 21 (supp.): 173-176 (in Chinese).
- LIU shuwen, WEI Kuanyi, XU Laping. The thrust nappe tectonics system and the metallogenic prediction of the Pb-Zn deposit in Huize, Yunnan [J]. Northwestern Geology, 2002, 35 (3): 84-89 (in Chinese).
- Mineralization rule of Lead-zinc deposite in Lingnan area [M]. Changsha: Huna Science and Technology Press, 1985, 34-37, 74-85 (in Chinese).
- QI wen, HOU Mantang, WANG Keming, et al. A discovery on a large stratabound lead-zinc ore belt in the Mayuan district of Nazhen county, Shaanxi [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23: 1139-1142 (in Chinese).
- RUI Zongyao, YE Jinhua, ZHANG Lisheng, et al. Pb-Zn deptsits on the perimeter of the Yangtze craton and on the margins of its uplifts [J]. Geology in China, 2004, 31 (4): 337-346 (in Chinese).
- SHAO Shicai, LI Zhaoyang. Metallogenetic rules of the stratabound Pb-Zn deposit in Dengying Formation of the west margin of Yangzi massif and its possibility of forming super-large ore deposit [J]. Yunnan Geology, 1996, 15 (4): 345-350 (in Chinese).
- SONG Xiaowen, HOU Mantang, CHEN Ruyi. Compartmentalization of minerals sequence of mineral deposits in Shaanxi Province [J]. Geology of Shaanxi, 2003, 21 (2): 1-17 (in Chinese).

- SONG Xiaowen, HOU Mantang, CHEN Ruyi. Division of Shaaxi matellogenic province (belt) [J]. *Northwestern Geology*, 2004, 37 (3): 29-42 (in Chinese) .
- WANG Jiangzhen, LI Chaoyang, et al. The Comparison of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits in Southwest of China and in Mid—Continent of United States [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21 (2): 50-60 (in Chinese) .
- WANG Jiangzhen, LI Chaoyang, LI Zeqin, et al. The geological setting, characters and origin of Mississippi valley-type Pb-Zn deposits in Sichuan and Yunnan Provinces [J]. *Geology Geochemistry*, 2001, 29 (2): 41-45 (in Chinese) .
- WU Xueyi, WU Huiming, LI Shengfen. Geotectonic setting of regional mineralization on the southwestern margin of the Yangzi terrain and tectonic constraints on the formation of ore deposits [J]. *Acta Mineralogical Sinica*, 1997, 17 (4): 376-385 (in Chinese) .
- YANG Yingxuan, KE Chengxi, LIN Fangcheng, et al. Genesis and metallogenetic regularities of lead-zinc Deposits on the Eastern Margin of the Kangdian axis [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994, 74-93 (in Chinese) .
- ZHANG Lisheng. Some geological problems for carbonate-hosted lead-zinc deposits on the eastern margin of the Kangdian axis [J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17 (supp.): 135-138 (in Chinese) .

Geology and Genesis of The Mayuan Lead-zinc Mineralization Belt in Shaanxi Province

HOU Man-tang, WANG Dang-guo, DENG Sheng-bo, YANG Zong-rang

(*Geological Survey of Shaanxi Province, Xi'an 710054, Chian*)

Abstract: The Mayuan lead-zinc mineralization belt is tectonically located on the southeastern margin of the Beiba rise in the northern Yangtze platform. The belt is over 60km long and 10 ~ 200m wide and can be divided into the southern, eastern and northern zones, in which over 40 orebodies have been delineated. The southern Pb-Zn mineralization zone having 30 orebodies is more than 20 km long and 20 ~ 120m wide. The eastern zone with 7 orebodies is 30 km in length and 20 ~ 200m in width. The northern zone is over 10 km long and 10 ~ 100m wide. The length of orebodies in the area generally ranges from 100 m to 2 560m, thickness in between 0.80~10.01m, Zn grade is 1.05% ~ 10.82%, and Pb 0.55% and 7.54%. The major orebody is 2 560 m long, 1.46~32.53 m thick (averaging 7.60m) and has 1.45%~11.42% Zn (averaging 4.47%). The mineralization belt mainly occurs in psephitic dolomitic breccias of the Sinian Dengying Formation, which is controlled by stratigraphy and structures. The study indicates that the Pb and Zn ore-forming elements probably come from the basement rocks; The initial Pb isotope could be derived from the crust-mantle mixing in the orogenic belt; sulfur isotope composition is enriched in heavy sulfur that may have come from the seawater sulfate in the synchronous sedimentation; the ore is characterized with REE enrichment, obvious fractionation of LREE and flat-pattern of HREE; ore-forming media is thermal brine fluid; both mineralization temperature and pressure are low; the metallogenic epoch is probably in late Dengying epoch of Sinian period. Integrate the geological characteristics and compare Mayuan lead-zinc mineralization belt with the MVT type Pb-Zn ore deposit abroad, we suggest that the mineralization type here is similar to the genesis of the MVT type Pb-Zn ore deposit with some differences. It is expected that favourable prospecting is in the areas of Beiba-Mayuan, Yunhe-Miaoba, Yangpingguan-Kuanchuanpu-Fuchuan, Sishang-Zhenba, Zhenping in Shaanxi province, and Zuxi, Shennongjia and Huanling in Hubei province.

Key words: Mayuan in Shaanxi; lead-zinc mineralization; geological features; genesis of the deposit; prospecting guide