

# 四川盆地北缘 MVT 铅锌矿地质和硫同位素特征

王国芝<sup>1,2)</sup>, 李娜<sup>2)</sup>, 付于真<sup>2)</sup>, 赵甫峰<sup>2)</sup>

1) 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都, 610059;

2) 成都理工大学地球科学学院, 成都, 610059

越来越多的资料表明, 许多 MVT 铅锌矿常与古油气藏在空间上密切共生或伴生。MVT 铅锌矿床与原油、天然气和其它碳氢化合物的密切关系被认为是一个难以破解的谜 (Kesler et al., 1994)。四川盆地北缘米仓山地区南江-马元一带的铅锌矿属于 MVT 铅锌矿 (李厚民等, 2007; 王晓虎等, 2008), 它们与国外的许多 MVT 铅锌矿床相似, 与古油气藏共生或伴生。本文试图通过对研究区 MVT 铅锌矿的地质特征和重晶石、硫化物、沥青的硫同位素研究, 揭示古油气藏与 MVT 铅锌矿间的成生关系。

## 1 地质背景

四川盆地北缘米仓山地区的 MVT 铅锌矿主要围绕着碑坝穹隆呈环带状分布, 矿体产于上震旦统灯影组白云岩中。按照岩石组合特征, 灯影组从上到下可分为四个岩性段。灯一段主要由多个葡萄状白云岩→雪花状白云岩→泥、微晶白云岩的韵律构成; 主要为潮下低能 (泥晶白云岩)-潮下高能 (藻屑滩) 夹少量潮间 (藻纹层白云岩) 沉积; 葡萄状构造主要发育于藻屑滩中。灯二段下部为灰白色-灰色泥晶白云岩与灰色藻纹层白云岩互层, 主要为潮间-潮上沉积; 上部主要为砂质白云岩、砂屑白云岩、泥晶白云岩, 夹少量层纹石白云岩, 为混合潮坪沉积; 该段中也发育有葡萄状构造。灯三段主要由砂岩、粉砂岩夹蓝灰色粉砂质泥岩和绿灰色泥云岩构成, 属于临滨沉积-混合潮坪沉积。灯四段中下部主要为潮下沉积, 由泥晶白云岩、粉-细晶白云岩及砂屑、藻屑白云岩构成; 上部主要为潮间-潮上沉积, 由微晶白云岩、粉-细晶白云岩夹叠层石白云岩和砾屑白云岩构成。通过地质地球化学的综合研究发现在灯影组内存在两个古岩溶界面, 它们分别位

于灯四段与寒武系、灯二段与灯三段间 (王国芝等, 2014)。由于古岩溶作用, 在不整合面下形成了大小不等的晶洞和次生孔隙带。

## 2 矿床地质特征

研究区的 MVT 铅锌矿主要产于震旦系灯影组中, 矿体总体呈层状断续分布, 沿走向延伸可达 2km 余。常见方铅矿、闪锌矿、萤石矿、重晶石矿等矿种, 以方铅矿和闪锌矿为主; 其中, 萤石矿在空间上与 MVT 铅锌矿相邻而不共生; 重晶石呈独立的矿床或与铅锌矿密切共生。

研究区 MVT 铅锌矿主要产于南江古油藏中。在平面位置上, MVT 铅锌矿叠置于南江古油气藏之上, 但古油气藏的分布范围明显地大于 MVT 铅锌矿的分布范围。在垂向剖面位置上, 铅锌矿主要产于灯四段与寒武系古岩溶界面下 30~70 余米的古岩溶带中; 铅锌矿位于灯四段古油气藏的上部, 矿体内部、矿体之上和之下的围岩中均发育丰富的沥青。

MVT 铅锌矿具有明显的空间分带特征。在平面上, 碑坝穹隆西侧主要以独立的重晶石矿为主; 穹隆中西部-中部的杨坝、新立、贵民一带主要以方铅矿为主, 新立一带可见独立的萤石矿床; 穹隆中东部-东部的朱家坝、马元一带以闪锌矿为主, 同时伴生有少量方铅矿和重晶石。从马元的钻探资料也反映出, MVT 铅锌矿在垂向上也具有分带性 (王晓虎等, 2008), 表现为深部主要以方铅矿为主, 其间夹闪锌矿; 浅部以闪锌矿为主。

方铅矿、闪锌矿、重晶石和萤石均呈大小不等的晶粒, 充填于古岩溶形成的溶洞或砾间孔洞中。矿石矿物主要有方铅矿、闪锌矿、菱锌矿、重晶石、

注: 本文为国家自然科学基金会项目 (编号 41273060) 资助的成果。

收稿日期: 2015-08-28; 改回日期: 2015-09-28; 责任编辑: 周健。

作者简介: 王国芝, 男, 1964 年生。博士, 教授, 地质学专业。Email: wangguozhi66@163.com。

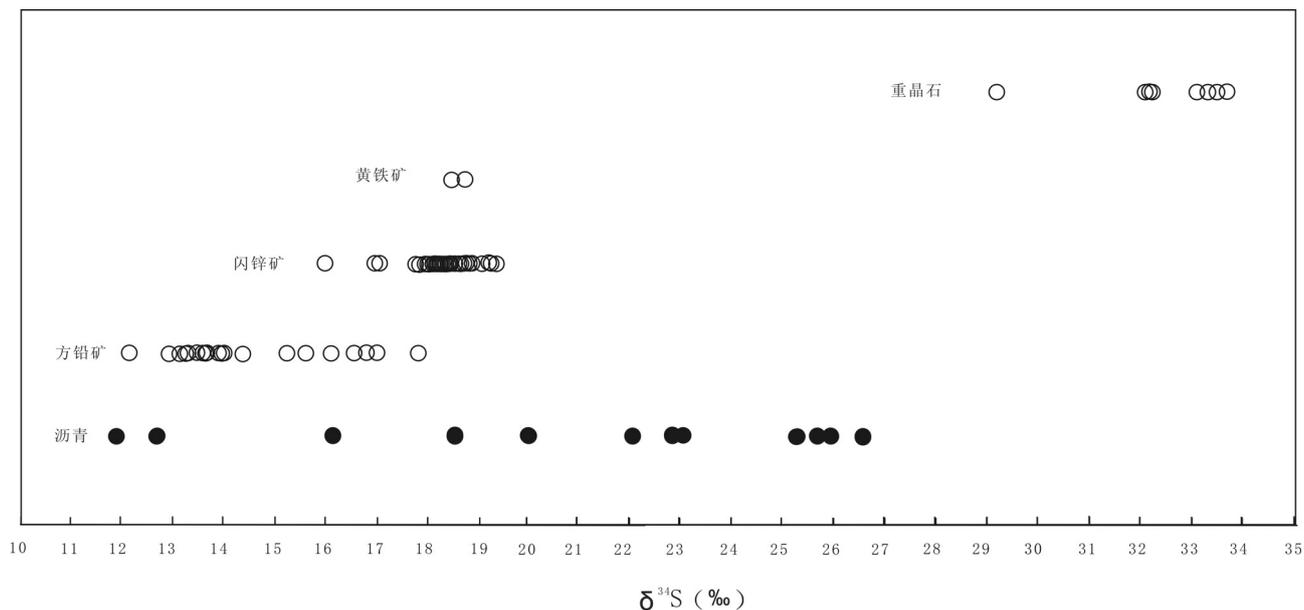


图 1 MVT 铅锌矿中不同矿物的硫同位素特征

萤石；少量黄铁矿、辉银矿和黄铜矿；脉石矿物有白云石、石英、方解石、沥青等。矿石结构为自形、半自形中细粒结构、充填结构，次为它形粒状结构。矿石构造以块状、条带状、角砾状为主，其次有浸染状、网脉状、斑团（点）状、有时可见斑马状构造。

### 3 硫同位素特征

对研究区 43 件方铅矿、闪锌矿、重晶石和 12 件沥青样品进行了硫同位素实测；同时另外收集了文献中已发表的 19 件方铅矿、闪锌矿、重晶石和黄铁矿的硫同位素分析结果（王晓虎等，2008）。实测和收集的不同矿物的硫同位素分布范围展示于图 1 中。

从图 1 中可以看出：研究区 2 件黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  分别为 18.6‰、18.8‰，平均为 18.8‰。32 件闪锌矿的  $\delta^{34}\text{S}$  介于 16.00‰~19.40‰间，平均为 18.30‰；除个别闪锌矿样品的  $\delta^{34}\text{S}$  高于黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  外，绝大部分样品的  $\delta^{34}\text{S}$  均低于黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$ 。20 件方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}$  介于 12.15‰~17.85‰间，平均为 14.54‰；其中，与闪锌矿共生的方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}$  介于 14.39‰~17.03‰间，无论是单件样品还是平均值，均明显高于无闪锌矿共生或伴生的方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值，但又总体小于闪锌矿的  $\delta^{34}\text{S}$ 。8 件重晶石的  $\delta^{34}\text{S}$  介于 29.26‰~33.69‰间，平均为 32.43‰。12 件沥

青的  $\delta^{34}\text{S}$  介于 11.90‰~26.50‰间，平均为 20.85‰。总的来看，硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  具有： $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿} \pm \text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$  的趋势，反映成矿流体中硫同位素达到平衡，这些硫化物矿物属于同期矿化的产物。

### 4 讨论

研究表明，震旦纪灯影期古海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  为 20.2‰~38.7‰(张同钢等，2004)，早寒武世海相硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  为 30‰（福尔，1983）。从硫同位素特征来看，黄铁矿、方铅矿、闪锌矿的  $\delta^{34}\text{S}$ ，既不同于早寒武世海相硫酸盐，也不同于灯影期古海水的硫酸盐，说明形成硫化物矿物的硫，不是直接来自于早寒武世或震旦纪灯影期的古海水，可能还有其它的来源。重晶石的  $\delta^{34}\text{S}$ （29.26‰~33.69‰，平均 32.43‰）与早寒武世海相硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$ （30‰）相近，表明形成重晶石的硫可能直接来自于早寒武世海水。通过对大量早寒武世郭家坝组（牛蹄塘组）泥岩、粉砂岩样品中 Ba 含量的背景值的分析表明，灯影组中重晶石矿中的 Ba 主要来自于郭家坝组；从 Ba 的来源和成矿的硫源反映出形成重晶石的成矿流体应当为来自早寒武世的盆地流体。

正如前所述，研究区的 MVT 铅锌矿与古油气藏在空间上密切共生或伴生。通过古油气藏中沥青的有机地球化学和潜在烃源岩的生物标志化合物

的对比研究表明,形成古油气藏的烃源岩为早寒武世郭家坝组(牛蹄塘组)。通过对郭家坝组烃源岩中 Pb、Zn 含量以及沥青中 Pb、Zn 含量的分析表明,郭家坝组烃源岩为 MVT 铅锌矿中 Pb、Zn 的直接来源。同时,通过对沥青的扫描电镜能谱分析,在沥青中直接发现有方铅矿、闪锌矿等硫化物矿物。因而,烃源岩层同时也是 MVT 铅锌矿的矿源层。从前述的硫化物矿物的硫同位素特征来看,黄铁矿、方铅矿和闪锌矿的  $\delta^{34}\text{S}$  与早寒武世海相硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  明显不同,它们的  $\delta^{34}\text{S}$  分布范围同与之共生沥青的  $\delta^{34}\text{S}$  范围有明显重叠(图 1),表明形成硫化物矿物的硫源主要来自于古油气藏,而金属源则来自于形成古油气藏的烃源岩本身。

## 5 结论

(1) 形成重晶石矿床的成矿流体来自于早寒武世郭家坝组时期的盆地流体。

(2) 与 MVT 铅锌矿密切共生的古油气藏为铅锌

矿的形成提供硫源,成矿金属来自于烃源岩本身。

(3) 寒武系郭家坝组泥质岩、泥质粉砂岩既是烃源岩层又是矿源岩层。

## 参 考 文 献 / References

- Kesler S E, Jones H D, Sassen K. 1994. Role of crude oil in the genesis of Mississippi Valley-type deposits: Evidence from the Cincinnati arch. *Geology*, 22(7): 609-612.
- 福尔. 1983. 同位素地质学原理. 潘曙兰, 乔广生译. 北京: 科学出版社, 326-332.
- 李厚民, 陈毓川, 王登红, 李华芹. 2007. 陕西南郑地区马元铅锌矿的地球化学特征及成矿时代. *地质通报*, 26(5): 546-552.
- 王晓虎, 薛春纪, 李智明, 李强, 杨荣进. 2008. 扬子陆块北缘马元铅锌矿床地质和地球化学特征. *矿床地质*, 27(1): 37-48.
- 王国芝, 刘树根, 李娜, 王东, 高媛. 2014. 四川盆地北缘灯影组深埋白云岩优质储层形成与保存机制. *岩石学报*, 30(3): 667-678.
- 张同钢, 储雪蕾, 张启锐, 冯连君, 霍卫国. 2004. 扬子地台灯影组碳酸盐岩中的硫和碳同位素记录. *岩石学报*, 20(3): 717-724.