

# 新疆阿克陶县塔木—卡兰古铅锌矿带 矿床地质和硫同位素特征\*

祝新友 汪东波 王书来

(有色金属工业总公司北京矿产地质研究所, 北京)

**提 要:** 新疆塔木—卡兰古铅锌矿带位于塔里木板块西南缘之晚古生代碳酸盐台地环境中。矿化以铅锌矿为主, 个别矿床含铜。矿床赋存于中泥盆统—下石炭统三个控矿的古含水层中, 矿体形态复杂, 富矿段往往赋存于多组断裂构造交汇部位。矿石根据其结构大体可分两类: 一类呈角砾状构造, 硫化物呈浸染状, 共(伴)生赤铁矿和磁铁矿; 另一类矿石中硫化物以胶状、草莓状结构为主。硫化物硫同位素值具有较宽的范围,  $\delta^{34}\text{S}$  为  $-39.2\% \sim +14\%$ , 主要集中在  $-29.3\% \sim -17.7\%$  和  $-3.6\% \sim +5.1\%$  两个区间, 分别与上述两类矿石相对应。研究表明, 位于泥盆系与石炭系间的第二古含水层是最重要的找矿层位, 角砾岩带是重要的找矿评价标志, 矿床成因可能属密西西比河谷型 (MVT), 两种性质差异很大的低温热液混合引起成矿物质的沉淀和成矿。

**关键词:** 铅锌矿床 矿床成因 硫同位素 新疆塔木—卡兰古

密西西比河谷型 (MVT) 矿床是世界上重要的铅锌矿类型之一, 在我国也曾引起广泛的重视。虽然近年来在黔西北地区也发现了该类矿床的存在, 但在我国仍无突破性找矿进展。新疆西昆仑地区的铅锌矿集中分布于阿克陶县克孜勒—库斯拉甫地区, 重要矿床有卡兰古-托格拉克 (简称卡兰古, 下同) 铅矿床、塔木铅锌矿床、阿巴列克铅铜矿床等。50 年代后期曾开展过初步勘探, 获得近 40 万吨铅锌金属量, 并认为这些矿床属于岩浆期后热液型。近年来的研究发现这些矿床有相似的成矿环境, 其大地构造位置、成矿地质特征以及地球化学特点类似于典型的 MVT 矿床, 与我国大多数铅锌矿床相比具有一些特殊性。

## 1 区域地质背景

研究区位于塔里木地台西南边缘的铁克里克断隆, 西南侧紧邻西昆仑古生代地槽<sup>[1]</sup>。矿带受 NNW 向区域断裂控制, 总体走向 NW 335°, 从更大范围上讲, 这组断层受塔里木地台西南缘大断裂制约。区内古生界与主断裂走向一致, 所有铅锌矿床 (点) 均分布于这组断裂之旁侧 (图 1)。铁克里克断隆区除局部出露少量的辉绿岩脉及早二叠世局部出现玄武岩外, 缺乏古生代以来的岩浆侵入活动。

控矿地层为泥盆系—下石炭统, 下伏前寒武系变质岩, 上覆上石炭统—二叠系。区内自

\* 国家 305 项目资助 (编号: 96-915-06-02-01)

祝新友, 男, 1965 年生, 高级工程师, 1988 年毕业于中国地质大学北京研究生院, 主要从事矿床地质研究工作。邮政编码: 100012

1997-12-29 收稿, 1998-05-10 修改回

新疆阿克陶县卡兰古-托格拉克铅矿勘查报告, 1962

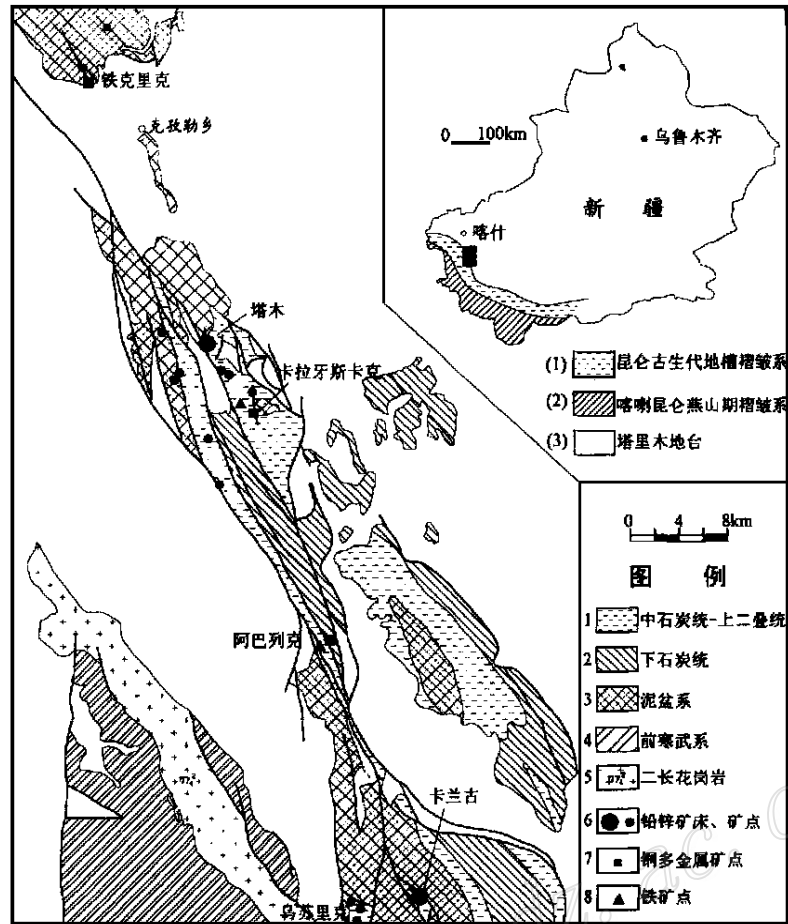


图 1 新疆塔木—卡兰古铅锌矿带地质矿产简图

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Tamu-Kalangu lead-zinc ore belt in Xinjiang, showing distribution of mineral resources.

(1) - Kunlun Paleozoic geosynclinal fold system; (2) - Karakorum Yanshanian fold system; (3) - Tarim platform; 1 - Middle Carboniferous; 2- Lower Carboniferous; 3- Devonian; 4- Precambrian; 5- Monzonitic granite; 6- Lead-zinc deposit (ore spot); 7- Copper-polymetallic ore spot; 8- Iron ore spot.

中泥盆统克孜勒组到上二叠统间无沉积间断, 岩性简单, 总体上属于一套浅海相碳酸盐岩—陆源碎屑岩沉积, 呈 NNW 向展布。

泥盆系中统克孜勒陶组 ( $D_2k$ ): 下部为一套单一的碎屑岩沉积, 主要岩石为中厚层状灰绿色石英砂岩、粉砂岩、石英细砾岩等; 上部为碎屑岩夹碳酸盐沉积, 富含钙质、粉砂质。主要岩石为钙质砂岩、粉砂岩、泥岩、生物碎屑灰岩等。上泥盆统奇自拉夫组 ( $D_3q$ ) 为紫红色碎屑岩沉积, 碎屑分选较好, 磨圆度较高, 主要岩石包括石英砂岩、含砾石英砂岩、细砂岩等。

石炭系包括下统克里塔格组 ( $C_{1k}$ )、霍什拉甫组 ( $C_{1h}$ ) 和中上统卡拉乌依组 ( $C_{2k}$ )、阿孜干组 ( $C_{2a}$ )、塔哈奇组 ( $C_{3f}$ )，上覆下二叠统棋盘组 ( $P_{1q}$ ) 及上二叠统达里约尔组 ( $P_{2d}$ )。下石炭统克里塔格组为中厚层状不纯碳酸盐岩，包括厚层结晶灰岩、生物碎屑灰岩、礁灰岩和白云质灰岩，富含生物化石，与下伏上泥盆统奇自拉夫组之间在矿带北部之克孜勒—铁克列克地区为整合接触，在矿带中南部之塔木—卡兰古地区为断层接触。霍什拉甫组为海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积，下部以粉砂岩、含砾长石石英砂岩为主夹薄层灰黑色中薄层灰岩和泥灰岩，上部为厚层状微晶灰岩和结晶灰岩，富含化石。

古含水层 (Paleoaquifer)。研究区铅锌矿、铁矿几乎都受控于泥盆系—石炭系的3套岩石组合，相当于3个古含水层系统 (图2)。这些古含水层都是由下部含 (透) 水的碎屑岩 (砂岩) 与上覆相对不透水的碳酸盐岩层组成，其间发生角砾化和白云石化作用。

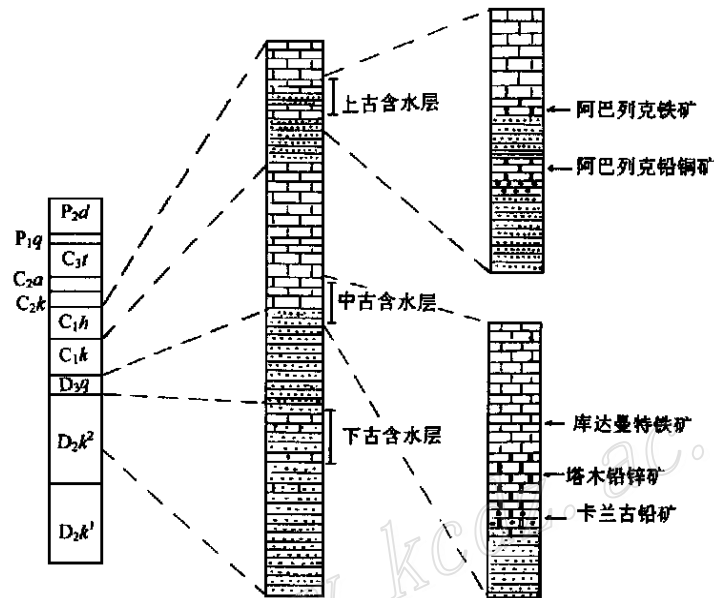


图2 古生代地层及含矿层位剖面图

Fig. 2. Paleozoic strata and ore-bearing horizons.

下古含水层位于中泥盆统克孜勒组中，由克孜勒组下部石英砂岩、砂砾岩与上部砂质灰岩及灰岩共同构成。灰岩含量少，含水层规模小，矿化强度弱，矿化以  $Pb$  为主，共生、伴生  $Cu$ ，见于矿带北部的铁克里克地区，以铁克里克铜铅矿为代表。中古含水层位于泥盆系与石炭系接触部位，由上泥盆统奇自拉夫组碎屑岩与下石炭统克里塔格组中厚层砂岩构成。矿化主要产于碎屑岩与上覆灰岩接触部位上侧之含碎屑灰岩中，伴有强烈的白云石化、角砾岩化等，是研究区最主要的容矿古含水层，大多数有经济意义的矿床 (点) 均见于此古含水层中。代表性的矿床 (点) 包括卡兰古、塔木、乌苏里克和卡拉牙斯卡克等铅锌矿以及库达曼特铁矿等。上古含水层位于下石炭统霍什拉甫组中，由下部的碎屑岩与上部的厚层灰岩构成，矿化以阿巴列克铅铜矿和阿巴列克铁矿为代表。

上述古含水体系，若同时发生断裂引起其中含矿卤水的活动，则可引起白云石化等蚀变，

进而可能形成多金属矿化和铁矿化。而在缺乏断裂活动的地区, 则不形成含矿层。

## 2 矿床地质特征

主控矿断裂走向 NNW, 与区域断裂大体一致, 控制了矿带和主矿(化)体的走向; 另一组断裂以 NEE 走向为主, 规模小, 但它控制主矿体尤其是富矿体的产出, 特别是在上述两组断裂的交汇部位, 矿体规模往往迅速膨大, 品位升高, 其中, 乌苏里克铅锌矿床全部产于晚期断裂中。

矿床全部受控于古含水系统的角砾岩带中。角砾化作用大体沿地层层位发生, 形态极不规则, 其范围远超过矿体范围。在塔木铅锌矿床, 角砾岩带长大于 2000 m, 宽 100~180 m, 可大致与矿化体对应。角砾为灰岩或白云质灰岩, 在有砾岩的矿区, 还可见到浑圆状石英角砾, 角砾大小不等, 0.5~5 cm。胶结物为细粒碳酸盐岩, 富含粘土质, 普遍含铅锌矿化。矿石以角砾状构造为主。局部地区, 有些角砾呈浑圆状, 表面有溶蚀现象, 角砾岩与围岩有时可见到不规则接触界面, 可能反映成矿过程中(或之前)有古岩溶作用存在。矿体属于角砾岩的一部分, 与围岩完全过渡, 由品位圈定。矿体形态不规则, 有局部膨大现象, 总体受控于沿层分布的角砾岩, 同时与横向断层的发育密切相关。

矿带中, 工业矿化以 Pb、Zn 为主, 少数矿床含 Cu。其中卡兰古铅矿, 一般 Pb 1%~9.5% (平均品位 2.88%, Zn 0.12%, 伴生 Co 0.015%); 塔木铅锌矿 Zn 2%~15%, Pb 1%~4%, 平均 Zn 4.56%, Pb 2.94%<sup>[1]</sup>。矿床的成分与围岩性质有密切的联系, 直接产于碳酸盐岩中的矿床(化)以 Zn 为主(塔木铅锌矿床, 储量比 Pb/Zn=0.46); 产在碎屑岩与碳酸盐岩接触部位的矿化(体)以 Pb、Cu 为主, 其中若碎屑岩为灰白色砂砾岩, 则矿化以 Pb 为主(卡兰古铅矿产于灰白色砂砾岩与碳酸盐岩接触部位靠碳酸盐一侧, 基本不含 Zn), 碎屑岩为紫红色时矿化以 Cu 为主(阿巴列克铅铜矿, 储量比 Cu/Pb=1.17), Cu 主要分布于古含水层中铅锌矿化下盘靠紫红色碎屑岩一侧, 这与 D A Sverjensky 总结的 MVT 矿床一般规律一致<sup>[4]</sup>。

与成矿有关的围岩蚀变很弱, 包括白云石化、方解石化和硅化。白云石化与矿化紧密共生, 白云石呈亮晶白色, 透明, 自形, 粒径 1~2 mm, 主要发生于硫化物两侧 2 mm 的范围内, 与白云岩或白云质灰岩中沉积的白云石或区域蚀变形成的白云石明显不同, 后者多呈半自形, 细粒(粒径 0.1~0.3 mm), 深色(图版 A)。主要原生矿物包括方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、砷镍矿以及白云石, 少量石英、方解石、石膏。

矿化可分为铅锌(铜)矿化和铁矿化, 二者具有相似的围岩蚀变和矿物组合。

铅锌(铜)矿。矿床中缺乏明显的多期次矿化作用, 无矿脉穿插现象。矿石可分 2 种: ①角砾碎裂状矿石, 为主要矿石类型(图版 B), 碳酸盐岩常构成角砾, 方铅矿、闪锌矿呈胶结物或呈不规则细脉状, 共生矿物有亮晶白云石。硫化物为粗粒, 粒径一般大于 1 mm, 乌苏里克铅锌矿床的方铅矿、闪锌矿粒径达 5 mm 以上。矿石品位高, 主要赋存于横向断裂与主断裂的交汇部位。在塔木铅锌矿床中, 闪锌矿内部发育细粒长柱状、针状黄铁矿(图版 C)。②浸

新疆阿克陶县卡兰古-托格拉克铅矿勘探报告, 1962

[1] 新疆阿克陶县塔木铅锌矿床勘探报告, 1959

染状矿石, 硫化物呈“斑点状”浸染分布于含石英碎屑结晶灰岩中, 方铅矿和少量闪锌矿不均匀分布, 局部集中呈“斑点状”, 斑点内方解石全部被白云石化, 方铅矿和闪锌矿充填于石英和白云石粒间。黄铁矿多呈草莓状(图版D)和胶状结构(图版E), 有些已被稍晚形成的铅锌矿交代, 局部还可见到呈胶状结构的闪锌矿以及由黄铜矿构成的草莓状结构。在大部分的矿床中, 这种胶状结构或草莓状结构的黄铁矿化残留于铅锌矿石中, 大部分已被交代。矿石中缺乏明显的脉状和碎裂状构造。这类矿石主要见于卡拉牙斯卡克、阿巴列克铅铜矿以及卡兰古东西向矿体。

铁矿。铁矿呈脉状穿插于碳酸盐岩中。矿脉宽4~6m, 其中含有黄铁矿矿石和赤铁矿矿石, 二者之间无明显的穿插。黄铁矿矿石根据结构特点又可进一步细分为草莓状黄铁矿和结晶中粗粒黄铁矿, 草莓状黄铁矿矿石全部由细粒草莓状黄铁矿构成或由大量的极细粒黄铁矿(小于10 $\mu\text{m}$ )集合体构成, 常由于后期的重结晶作用引起草莓内部结构的破坏。这种草莓状结构也见于阿巴列克铜矿和卡兰古铅矿中, 在那里较早形成的具草莓状或胶状结构的黄铁矿被稍晚期出现的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等交代。中粗粒黄铁矿矿石由高度自形的立方体黄铁矿构成(图版F), 粒径大于0.1mm, 部分达0.5mm。赤铁矿矿石与黄铁矿矿石常出现于同一断裂中。赤铁矿矿石中含有一些呈细脉状穿插的磁铁矿以及与磁铁矿共生的黄铁矿和亮晶白云石, 这种黄铁矿呈中粗粒自形一半自形晶分布于磁铁矿脉的中心或出现于赤铁矿石边部, 同时共生有石膏。

“斑点”分散状铅锌矿石和角砾状铅锌矿石可分别与细粒草莓状黄铁矿矿石和中粗粒自形晶立方体黄铁矿矿石相对应, 前者可能形成稍早。由方铅矿、闪锌矿交代早期形成的胶状、草莓状黄铁矿, 并共(伴)生少量赤铁矿、磁铁矿。

### 3 硫同位素

在塔木—卡兰古矿带共测定硫化物的硫同位素样品29件(表1), 分别取自卡兰古、塔木、乌苏里克、卡拉牙斯卡克和阿巴列克等矿床。全区矿床硫化物的硫同位素组成具有一个广泛的分布范围,  $\delta^{34}\text{S}$  值为-39.2‰~+14‰。不同层位(古含水层)中的矿床 $\delta^{34}\text{S}$  无明显的差别, 矿带中部与南部分布特点也是相似的, 但单个矿床的分布有着明显的差异。铅锌(铜)矿床中硫化物的硫同位素分布大体以-10‰为界划分为两个区域(图3), 即-29.3‰~-17.7‰和-3.6‰~+5.1‰, 虽然各矿床不尽相同, 但这两类硫同位素反映了不同成因的矿石, 它们可能代表着不同的物质来源。

I 类硫同位素强烈富集 $^{32}\text{S}$ , 分散,  $\delta^{34}\text{S} = -29.3\text{‰} \sim -17.7\text{‰}$ , 包括卡兰古、卡拉牙斯卡克、阿巴列克铜矿以及部分塔木铅锌矿的样品。具有这种硫同位素组成的矿石中硫化物呈分散浸染状、“斑点”分散状, 硫化物细粒, 共生的黄铁矿往往具有草莓状结构或胶状结构, 局部还可见到具有胶状结构的闪锌矿。

II 类硫同位素分布在0值附近,  $\delta^{34}\text{S} = -3.6\text{‰} \sim +5.1\text{‰}$ , 主要矿床包括塔木、乌苏里克和部分卡兰古铅锌矿的样品, 对应的矿石以角砾状为主, 品位高, 矿体呈不规则脉状, 以乌苏里克铅锌矿为代表。塔木铅锌矿的这类矿石都产于横向断裂与NNW向角砾岩带的交汇部

表 1 塔木—卡兰古铅锌矿带硫同位素测定结果

Table 1. Sulfur isotope determinations of the Tamu-Kalangu lead-zinc ore belt

编号	取样位置	矿石名称 (特征)	矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	$t/^\circ\text{C}$
KT1	卡兰古铅矿	细粒浸染状方铅矿矿石	方铅矿	- 17.9	
KT3	卡兰古铅矿	浸染状矿石 (贫矿)	方铅矿	- 26.2	
KT4	卡兰古铅矿	角砾状铅矿矿石	方铅矿	- 3.6	
KT7	乌苏里克铅锌矿	块状粗粒方铅矿矿石	方铅矿	- 2.9	
KT8	乌苏里克铅锌矿	块状粗粒闪锌矿矿石	闪锌矿	- 2.3	
KT9	乌苏里克铅锌矿	粗粒闪锌矿方铅矿矿石	闪锌矿	- 1.0	287/2.3
KT9	乌苏里克铅锌矿	粗粒闪锌矿方铅矿矿石	方铅矿	- 3.3	
KT11	乌苏里克铅锌矿	粗粒闪锌矿方铅矿矿石	闪锌矿	1.4	328/2.0
KT11	乌苏里克铅锌矿	粗粒闪锌矿方铅矿矿石	方铅矿	- 0.6	
KAT-2	阿巴列克铜矿	细脉浸染状铜矿石	闪锌矿	- 11.8	
KAT-3	阿巴列克铜矿	细脉浸染状铜矿石	闪锌矿	- 20.8	
KAT-4	阿巴列克铜矿	浸染状铅矿石 (有草莓状结构)	方铅矿	- 25.2	97/4.4
KAT-5	阿巴列克铜矿	浸染状铅矿石 (有草莓状结构)	方铅矿	- 28.8	
KTT-1	塔木铅锌矿	铅锌矿石 (角砾矿)	闪锌矿	0.4	188/3.4
KTT-1	塔木铅锌矿	铅锌矿石 (角砾矿)	方铅矿	- 3.0	
KTT-2	塔木铅锌矿	角砾状细脉浸染状闪锌矿矿石	闪锌矿	3.9	
KTT-3	塔木铅锌矿	角砾状铅矿矿石	方铅矿	0.8	137/4.3
KTT-3	塔木铅锌矿	角砾状铅矿矿石	闪锌矿	5.1	
KTT-4	塔木铅锌矿	土黄色细粒黄铁矿石 (胶状结构)	黄铁矿	- 18.9	
KTT-5	塔木铅锌矿	含鲕状胶黄铁矿灰岩 (胶状结构)	黄铁矿	- 19.6	
KTT-6	塔木铅锌矿 (横向矿脉)	块状方铅矿矿石	方铅矿	1.2	
KTT-9	卡拉牙斯卡克	浸染状方铅矿矿石	方铅矿	- 26.2	
KTT-10	卡拉牙斯卡克	含方铅矿闪锌矿角砾岩	黄铁矿	- 17.7	23.4/11.6
KTT-10	卡拉牙斯卡克	含方铅矿闪锌矿角砾岩	方铅矿	- 29.3	
KTT-11	卡拉牙斯卡克	含星点状方铅矿化石英砂岩	方铅矿	- 27.8	
KTT-12	库达曼特铁矿	致密块状细粒黄铁矿 (草莓状)	黄铁矿	- 36.8	
KAT-6	阿巴列克铁矿	致密块状细粒黄铁矿 (草莓状)	黄铁矿	- 39.2	
KAT-7	阿巴列克铁矿	致密块状粗粒黄铁矿 (自形粒状)	黄铁矿	14.0	
KAT-7	阿巴列克铁矿	致密块状粗粒黄铁矿 (自形粒状)	黄铁矿	13.5	

注: 测试单位: 桂林矿产地质研究院, 1997

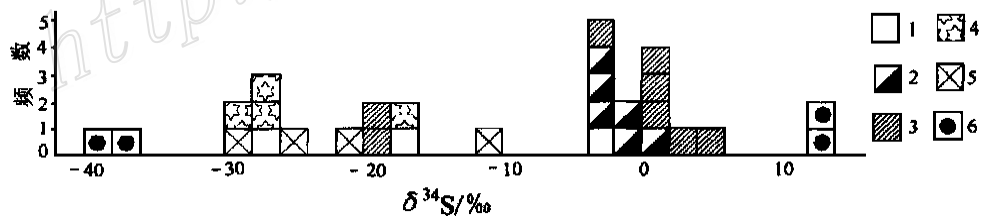


图 3 塔木—卡兰古铅锌矿带硫同位素分布直方图

1—卡兰古; 2—乌苏里克; 3—塔木; 4—卡拉牙斯卡克; 5—阿巴列克铜铅矿; 6—铁矿

Fig. 3. Histogram showing distribution of sulfur isotopes in the Tamu-Kalangu lead-zinc ore belt.

1- Kalangu; 2- Wusulik; 3- Tamu; 4- Kalayaskak; 5- Abaliek copper-lead deposit; 6- Iron deposit.

位, 在 NE70°和 NW300°方向的断裂中常出现块状铅锌矿石, 矿物粗粒, 品位高, 共生黄铁矿少且呈自形粒状。

铁矿床中黄铁矿的硫同位素都超出上述两类同位素范围之外, 4个黄铁矿样  $\delta^{34}\text{S}$  分别为 +14‰、+13.5‰、-39.2‰和-36.8‰, 为最高值区和最低值区。富含 $^{32}\text{S}$ 的黄铁矿都具有草莓状或胶状结构, 粒度极细, 其中也共生有少量黄铜矿。而富含 $^{34}\text{S}$ 的黄铁矿都呈中粗粒状自形晶, 与赤铁矿共(伴)生, 或呈不规则脉状穿插于赤铁矿(石)体。

根据硫同位素平衡温度计原理<sup>[3]</sup>计算的成矿温度为 23~328℃, 明显呈脉状矿的乌苏里克矿床成矿温度在 287~328℃, 以角砾状矿石为主的塔木矿床为 137~188℃, 阿巴列克铅铜矿为 97℃, 该矿床发育大量的草莓状和胶状黄铁矿, 而取自卡拉牙斯卡克铜铅矿床“斑点”浸染状矿石的成矿温度为 23.4℃, 虽然这一温度值过低, 但一定程度上反映了卡拉牙斯卡克矿床浸染状矿石成矿温度较低, 同时也可能是不同来源硫混合的结果。

这些同位素温度与闪锌矿的流体包裹体均一温度(160~180℃)是基本一致的, 成矿温度很低, 同时也说明成矿体系中矿物硫同位素基本上达到了平衡状态。

## 4 讨 论

塔木—卡兰古地区铅锌(铜)矿床的地质和硫同位素特征说明其成因具有密西西比河谷型矿床的特点, 它们与北美地区密西西比河谷型矿床成因特点是非常相似的, 表现在大地构造环境、含矿建造、矿体和矿石特征、围岩蚀变、角砾岩化、成矿温度以及硫同位素分布等方面。

虽然 Sangster 认为 MVT 型矿床是一类地质特征差异很大的矿床<sup>[2]</sup>, 但它们有着一些共同的特点。除在西澳大利亚发现 MVT 型矿床产于 Canning 裂陷盆地中外<sup>[5]</sup>, 世界各地迄今所发现的几乎所有这类矿床都产于大陆边缘的碳酸盐台地中, 尤其被动大陆边缘<sup>[6]</sup>。区内缺乏与成矿有关的岩浆作用<sup>[7,11]</sup>。控矿地层为滨浅海相稳定沉积的一套厚层不纯碳酸盐夹碎屑岩, 矿体直接受控于古含水层系统<sup>[8]</sup>。矿体形态不规则, 富矿体受控于局部的断裂构造。矿石以角砾状为主<sup>[3]</sup>, 角砾岩化普遍, 围岩蚀变主要是白云石化, 在很多矿床中, 亮晶白云石的出现是重要的找矿评价标志<sup>[10]</sup>。矿石组分简单, 以方铅矿、闪锌矿为主, 黄铁矿含量少, 普遍含铜, 成矿温度低<sup>[4]</sup>。

本区自中泥盆统克孜勒组到上二叠统间无沉积间断, 属于稳定的克拉通边缘碳酸盐岩台地环境。铁克里克断隆区除局部出露少量的辉绿岩脉外, 无侵入活动, 这类辉绿岩脉的分布也与矿区无直接联系。矿体与围岩界线不清, 缺乏明显的多阶段热液活动现象, 断裂交汇部位往往形成富矿体。矿化沿古含水层中产生角砾化的部位发生, 矿化范围远大于矿区, 角砾多为碳酸盐岩, 硫化物构成胶结物。亮晶白云石化是主要的围岩蚀变, 硅化弱且不普遍。矿石中有大量的胶状结构、草莓状结构, 到目前为止未发现条纹条带状结构构造。矿物成分简单, 成矿温度低, 闪锌矿透明、色浅。本区矿床的这些特点也是世界 MVT 型矿床的共同特点, 尤其与北美 Missouri 东南部和 Appalachia 地区的 MVT 型矿床相似<sup>[12]</sup>。

虽然 MVT 型矿床的成因模型仍存在争议, 至少包括混合模式、硫酸盐还原模式以及还原硫模式<sup>[13-15]</sup>。其中, 两种热液甚至多来源热液的混合成矿模式<sup>[13]</sup>已为目前很多的学者所接

受<sup>[14,15]</sup>, 似乎能更好地解释一些 MVT 矿床的成矿特点。一种是富含硫的还原性热液, 另一种流体富含金属物质, 氧化性较高, 二者的混合在特定部位造成硫化物的沉淀。

单用硫同位素的分异作用或单一来源的含矿热液的分异演化(还原硫模式)看来都无法解释塔木—卡兰古地区  $\delta^{34}\text{S}$  为  $-39.2\% \sim +14\%$  这一宽广的分布范围。两类不同特点的矿石类型和铁矿石特征以及与之相对应的独特的硫同位素分布规律说明成矿作用过程中可能存在两种不同性质、不同来源的含矿热液, 二者的相互混合形成了目前的各种铅锌矿石。

一类是具有还原性的含矿热液, 沿角砾岩化的层位形成广泛的低品位矿化, 以这类热液为主形成的矿石矿物粒度细, 呈“斑点”浸染状、胶状、草莓状结构等, 矿物共生组合包括黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等, 但不含赤铁矿或磁铁矿。热液温度可能较低, 具有极低的  $\delta^{34}\text{S}$  值, 其成因可能与某种硫酸盐或硫化物的还原作用有关, 大量的草莓状黄铁矿、胶状黄铁矿以及闪锌矿的出现, 说明生物还原作用是可能存在的。这种热液不含或少含 Pb、Zn、Cu 等金属元素, 主要形成黄铁矿。在卡兰古、阿巴列克、卡拉牙斯卡克等矿床的成矿过程中均起重要的作用。

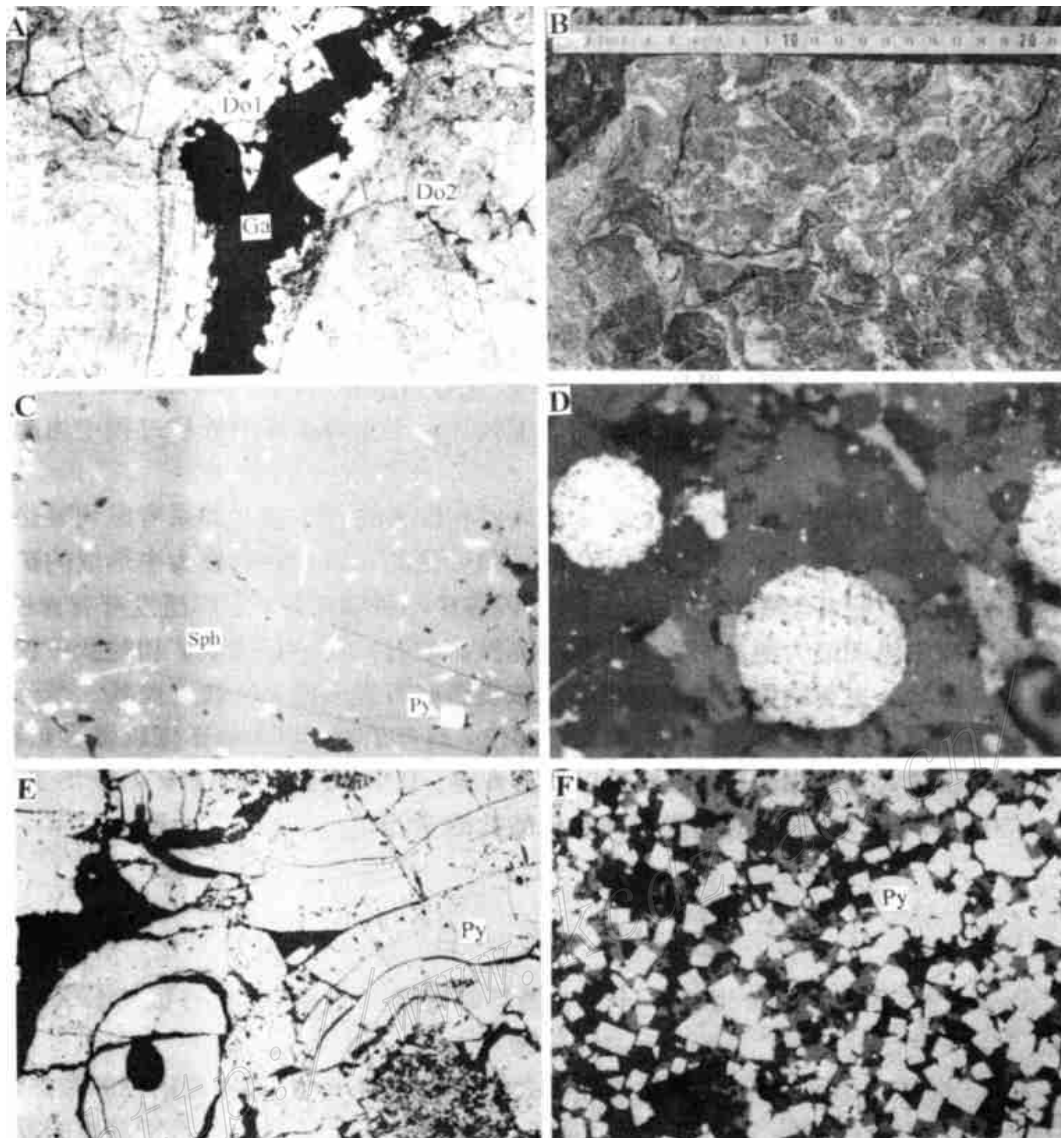
另一类含矿热液属于氧化性流体, 温度较高, 有较高的  $\delta^{34}\text{S}$  值, 如果考虑到氧化环境中  $\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{S}$  间的平衡关系, 则初始热液中的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{S}}$  值会更高。以这种热液为主形成的矿石品位较高, 矿石的矿物共生组合除黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿外, 还广泛发育有赤铁矿。这一特点在铁矿床中表现最为明显, 发育块状的赤铁矿矿石, 其中含磁铁矿和粒状黄铁矿。矿石呈角砾状、脉状。主要结构为中粗粒粒状。该类型矿石更多地见于缺乏胶状、草莓状结构的横向断裂发育部位, 尤其是多组断裂的交汇部位, 乌苏里克、塔木等矿床以该类矿石为主。表现为矿石中出现大量的赤铁矿、磁铁矿以及石膏等。其中中粗粒黄铁矿矿石  $\delta^{34}\text{S}$  为  $13.5\% \sim 14\%$ , 与 Claypool (1980) 的石炭纪海水硫酸盐的  $\delta^{34}\text{S}$  值 ( $15\%$ )<sup>[16]</sup>一致。

## 5 结 论

(1) 分布于新疆阿克陶县的塔木—卡兰古铅锌矿带属于密西西比河谷型(MVT), 其成矿地质特征与北美地区的MVT型矿床有类似的特点。

(2) 成矿过程中可能存在两类性质差异很大的含矿热液: 一种是富硫的还原性热液,  $\delta^{34}\text{S}$  值低; 另一种富含金属物质, 但可能贫硫, 属于氧化性热液,  $\delta^{34}\text{S}$  值高, 两种热液的混合形成矿床。





图版 A 铅锌矿石。亮晶白云石 (Dol) 紧挨硫化物 (Ga- 方铅矿) 分布, 高度自形, 透明, 两侧为沉积结晶白云石 (Do2), 颜色较深, 透明度差。塔木, 10× 10, 透射光

图版 B 角砾状铅锌矿石。角砾为碳酸盐岩和石英, 胶结物为硫化物、亮晶白云石和少量粘土质。塔木, 10× 5

图版 C 块状铅锌矿石。闪锌矿 (Sph) 晶体内部分布大量长柱状、针状黄铁矿和部分细粒自形黄铁矿 (Py)。塔木, 10× 40, 反射光

图版 D 含草莓状结构的铜矿石。草莓状结构, 草莓由黄铁矿 (Py) 组成, 黄铁矿常呈自形晶, 其间常充填方铅矿、黄铜矿等。阿巴列克铅铜矿, 10× 40, 反射光

图版 E 含胶状黄铁矿的铅锌矿石。黄铁矿 (Py) 呈胶状结构。塔木, 10× 10, 反射光

图版 F 块状黄铁矿矿石。黄铁矿几乎全部呈立方体自形晶。阿巴列克铁矿, 10× 10, 反射光

### 参 考 文 献

- 1 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵等. 昆仑开合构造. 北京, 地质出版社, 1992, 161~168.
- 2 Sangster D F. 密西西比河谷型矿床是一类地质特点差异很大的矿床. 李春明译. 国外地质科技, 1985 (5): 25~39.
- 3 Hoagland A. D. 阿巴拉契亚锌铅矿床. 宋学信译. 见: K H 乌尔夫编. 层控矿床与层状矿床. 北京: 地质出版社, 1980, 6: 375~405.
- 4 Sangster D F. 密西西比河谷型与沉积喷气型矿床的对比. 张秋明译. 国外地质科技, 1991, (8).
- 5 Tompkins K S, Pedone V S, Roche M T et al. The Cadjebut Deposit as an example of Mississippi valley-type mineralization on the Lennard Shelf, western Australia- single episode or multiple event? *Econ. Geol.*, 1994, 89: 450~466.
- 6 Read J F. Evolution of Cambro-Ordovician passive margin, U. S. Appalachians. *Geological Society of America, Geology of North America*, 1989, F-2: 42~57.
- 7 Spry P G, Fuhrmann G D. Additional fluid inclusion data from the Illinois-Kentucky fluorspar district: evidence for the lack of a regional thermal gradient. *Econ. Geol.*, 1994, 89: 288~306.
- 8 Harris L D. A lower Paleozoic paleoquifer- the Kingsport Formation and Mascot Dolomite of Tennessee and southwest Virginia. *Econ. Geol.*, 1971, 66: 735~743.
- 9 Ohmoto H, Rye R O. Isotopes of sulfur and carbon. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York: Holt-Rinehart & Winston, 1979, 509~568.
- 10 Hayens F M, Kesler S E. Relation of mineralization to wall-rock alteration and brecciation, Mascot-Jefferson City Mississippi Valley-type district, Tennessee. *Econ. Geol.*, 1994, 89: 51.
- 11 Sverjensky D A. Genesis of Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1986, 14: 177~199.
- 12 Sverjensky D A. The origin of a MVT in the Viburnum Trend, southeast Missouri. *Econ. Geol.*, 1981, 76: 1848~1872.
- 13 Goldhaber M B, Church S E et al. Lead and sulfur isotope investigation of Paleozoic sedimentary rocks from the southern mid-continent of the United States: implications for paleohydrology and ore genesis of the southeast Missouri lead belts. *Econ. Geol.*, 1995, 90: 1875~1910.
- 14 Kesler S E, Cumming G L et al. Lead isotope geochemistry of Mississippi valley-type deposits of the southern Appalachians. *Econ. Geol.*, 1994, 89: 307~321.
- 15 Plumlee et al. Chemical reaction path modeling of ore. *Econ. Geol.*, 1994, 89: 307~321.
- 16 Claypool G E et al. The age curves of sulfur and oxygen in marine sulfate and their mutual interpretation. *Chemical Geology*, 1980, 28: 199~260.

## GEOLOGY AND SULFUR ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF THE TAMU-KALANGU LEAD-ZINC DEPOSITS, AKTO COUNTY, XINJIANG

Zhu Xinyou, Wang Dongbo and Wang Shulai

(Beijing Institute of Geology and Mineral Resources, CNRC, Beijing 100012)

**Key words:** Xinjiang, lead-zinc deposit, Mississippi Valley type, sulfur isotope, genesis

### Abstract

Lying in Akto County, Xinjiang, the Tamu-Kalangu lead-zinc belt occurs in Late Proterozoic carbonate platform in the southwestern margin of Tarim plate. Lead-zinc(copper) and iron mineralizations are all found in brecciated zones in three rock sequences from Upper-Middle Devonian to Early Carboniferous that consist of sandstone and overlying carbonate rocks and seem to serve as paleo-aquifers. Orebodies are complex in shape, and rich orebodies mostly occur at the intersections of different faults. The sparry dolomitization, mostly 2mm in size, appears around sulfide minerals. Ore sulfide minerals include galena, sphalerite, some chalcopyrite and minor pyrite. The ores can be divided into two types: one is brecciated in form, and consists of coarse galena, sphalerite, minor euhedral pyrite, hematite and sparry dolomite that fills breccia pores, whereas in the other type, sulfides are dispersed, and fine-grained pyrite and some sphalerite occur as colloforms and framboids.

The  $\delta^{34}\text{S}$  values of ore sulfides are between -39.2‰ and +14‰, with most values varying in two ranges. The sulfides in brecciated ores have  $\delta^{34}\text{S}$  values of -3.6‰ ~ +5.1‰ and relatively low temperature, whereas colloform and framboidal pyrite and other correlated sulfides have  $\delta^{34}\text{S}$  values of -29.3‰ ~ -17.7‰ and higher temperature. In iron mineralization, euhedral pyrite and correlated hematite have sulfur isotope values of +13.5‰ ~ 14‰, with fine-grained framboidal pyrite having the value of -39.2‰.

Geological and sulfur isotope studies suggest that there existed two end member reservoirs for two types of ore fluids in the ore-forming event, and the mixing of the fluids seems to have been most important in mineralization. One type of fluid was reduced fluid containing isotopically light sulfurs ( $\delta^{34}\text{S} < -10\text{‰}$ ) and the other is oxidized fluid containing abundant metals with isotopically high sulfur ( $\delta^{34}\text{S} > -10\text{‰}$ ). It is considered that the middle paleo-aquifer between Devonian and Carboniferous is an important position for prospecting, and brecciation is an important indicator of exploration.