

首例独立碲矿床流体包裹体研究

陈培荣* 陆建军 王汝成 徐士进 陈小明

(南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 南京)

提 要: 四川石棉大水沟碲矿床是世界首例独立碲多金属矿床。包裹体的相态和成分特征表明, 矿石和变质分异脉体富含 CO_2 、 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (低盐度流体) 和 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ (高盐度流体) 三种体系的流体包裹体, 成矿作用与前两种体系的流体有关。薄片中普遍存在包裹体的自然爆裂现象, 大多数包裹体在均一前发生泄漏或爆裂。矿物温度计表明, 磁黄铁矿阶段成矿温度约 500°C , 辉碲铋矿阶段约 400°C , 流体密度变化在 $1.04\sim 0.76\text{ g/cm}^3$ 之间, 成矿压力分别为 $450\sim 500\text{ MPa}$ 和 $240\sim 300\text{ MPa}$, 矿化是在高温高压条件下发生的。

关键词: 富 CO_2 体系 高温高压流体 碲矿床

1 矿床地质概况

矿区位于扬子准地台西缘沪定-冕宁区域韧性剪切构造带中部。矿床周围出露有前寒武系基底变质杂岩及泥盆系、二叠系和三叠系地层。区内主要构造为穹隆构造, 该穹隆体核部为元古宇粗-巨晶大理岩, 向上向两翼过渡为杂色条带状中-细晶大理岩、绢云母片岩、板岩及变基性火山岩, 变质程度已达角闪岩相。碲矿床位于该穹隆体之北倾伏端, 矿体主要呈脉状充填在夹于条带状白云石大理岩之中的变基性火山岩的剪切裂隙中。

大水沟碲矿床成矿作用可分为磁黄铁矿-黄铁矿、辉碲铋矿和黄铁矿-黄铜矿三个成矿阶段^[1], 前两个成矿阶段主要脉石矿物为白云石, 最后一个阶段脉石矿物为石英。矿床中围岩蚀变发育, 碳酸盐化与碲矿化关系密切。

2 流体包裹体的相态和成分特征

所研究样品采自磁黄铁矿-黄铁矿阶段和辉碲铋矿阶段的成矿脉体, 以及变质岩中的变质分异脉体。室温条件下详细的包裹体相态特征研究表明, 在变质分异形成的含碳酸盐石英脉和两个主要成矿阶段形成的各种磁黄铁矿脉及碲矿脉中, 存在富水相、高盐度和富 CO_2 相三大类型包裹体, 其分布和成分演化具有明显的规律。

2.1 富水相包裹体

富水相包裹体体积比: $V_{\text{H}_2\text{O}}/V_{\text{总}} > 50\%$ 。依据相态和成分可进一步划分出三个亚类。

(1) 液气两相包裹体 ($L_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{CO}_2}$), 除含水相外, 还含有蒸气相 (也可能为压缩气体 CO_2 相), 其中气体百分数 ($V_{\text{气}}/V_{\text{总}}$) 为 15% 左右。包裹体大小一般 $8\sim 23\ \mu\text{m}$, 形态有不规则形、长条形、石英负晶形或卵圆形。主要见于变质分异石英脉样品中 (95D-25-1)。

* 陈培荣, 男, 1950年生, 副教授, 从事矿床地球化学研究。邮政编码: 210093

(2) 液液两相包裹体 ($L_{H_2O} + L_{CO_2}$), 是指除含有水相外还含有液相 CO_2 , 此类包裹体容易与液气两相包裹体混淆, 但当冷冻到低于室温时, 貌似气体相的 L_{CO_2} 相中出现气泡。主要见于变质分异石英脉 (95D-22-1、95D-23) 和辉碲铋矿白云母碳酸盐石英脉 (95DY-1、95DY-2) 样品中。包裹体大小一般介于 $2 \sim 18 \mu m$ 之间, CO_2 相百分数为 $15\% \sim 30\%$, 个别可达 40% 。形态有不规则状、短纺锤形、石英负晶形、长柱形等多种。

(3) 液气三相包裹体 ($L_{H_2O} + L_{CO_2} + V_{CO_2}$), 除含水 and 液相 CO_2 外, 还含有气相 CO_2 (V_{CO_2}), 后者消失温度 $< 31.1^\circ C$ 。该类包裹体主要分布在 95D-22-1, 95DY-1 和 95DY-2 中。 CO_2 相百分数为 $15\% \sim 25\%$, 大小一般 $2 \sim 12 \mu m$, 形态多为不规则形、长柱形或石英负晶形。

2.2 高盐度包裹体

是指含 $NaCl$ 子矿物的多相包裹体, 通常含有水相 (L_{H_2O})、液相 CO_2 (L_{CO_2})、气相 CO_2 (V_{CO_2}) 和石盐 (S_{NaCl}) 固体。该类包裹体主要出现于 95D-29 (变质分异石英脉), 95D-23, 95DY-1 和 95DY-2 样品中。包裹体大小一般为 $12 \sim 18 \mu m$, 在个别样品 (如 95D-23) 中, 呈蠕虫状的该类包裹体长轴方向可达 $50 \mu m$ 。包裹体中 CO_2 相 ($L_{CO_2} + V_{CO_2}$) 体积百分数为 $12\% \sim 25\%$ 。包裹体形态多呈石英负晶形、不规则形和蠕虫状。

2.3 富 CO_2 相包裹体

该类包裹体体积比: $V_{CO_2} / V_{总} > 50\%$, 即 CO_2 相 ($V_{CO_2} + L_{CO_2}$) 体积占包裹体总体积的 50% 以上。根据室温下的状态和成分特征, 可将该类包裹体分成三个亚类:

(1) 纯液相 CO_2 包裹体 (L_{CO_2}), 室温下水相不明显, 貌似纯气相或单一水溶液相包裹体, 冷冻时出现收缩气泡。该类包裹体广泛分布, 见于多数样品中。通常呈条带状沿晶面方向分布, 或沿愈合裂隙出现。个体通常较小, 多数 $6 \sim 8 \mu m$ 。形态主要呈 β 石英负晶形, 当出现在方解石或白云石中时呈菱面体形。

(2) 富 CO_2 液液两相包裹体 ($L_{CO_2} + L_{H_2O}$), 室温下一般不出现气相 CO_2 , L_{CO_2} 体积百分数约 $50\% \sim 90\%$, 多数 $> 70\%$, 与纯液相 CO_2 包裹体紧密共生, 个体大小和形态特征一般与纯液相 CO_2 包裹体相似, 但当出现在金属矿物旁侧时, 个体通常较大。

(3) 富 CO_2 液气三相包裹体 ($L_{CO_2} + V_{CO_2} + L_{H_2O}$), 该类包裹体主要产在辉碲铋矿碳酸盐脉 (95DY-11) 样品中, 大小 $6 \sim 12 \mu m$, CO_2 相体积百分比为 $60\% \sim 80\%$, 其中 V_{CO_2} / L_{CO_2} 的体积比为 $10\% \sim 30\%$, 形态平面上呈平行四边形, 三维方向上为菱面体形。

综上所述可以看出, 在所研究的样品中, 从相态特征来看, 存在单相、二相和多相等多种包裹体。从成分特征看, 存在 CO_2 、 CO_2-H_2O (低盐度流体) 和 $CO_2-H_2O-NaCl$ (高盐度流体) 三种体系。变质分异脉体含上述三种体系, 热液成矿阶段主要是 CO_2 和富 CO_2 的 CO_2-H_2O 体系。由于在变质分异脉体的石英中, 经常看到 CO_2 相包裹体沿愈合裂隙分布。因此, 可以推测, 成矿作用是在变质作用过程中, 流体从富 H_2O 的 CO_2-H_2O 体系和 $CO_2-H_2O-NaCl$ 体系演化到富 CO_2 的 CO_2-H_2O 体系和 CO_2 体系时发生的。

3 流体包裹体的热状态特征

包裹体的加热和冷冻是在英国 LINKAM THMS600 型冷热两用台上进行的。实验表明,

各类包裹体的热状态特征表现出明显差异并显示出一定规律。

存在于变质分异脉体中的富水相包裹体，在加热过程中的热状态特征比较复杂，均一温度变化范围很大（179~419℃），而且有些样品或样品中某些包裹体无法测得均一温度，而是在均一前发生泄漏或爆裂。

高盐度包裹体在加热过程中热状态的变化表现为两种方式。一种方式为 NaCl 子矿物先于 CO₂ 相消失，然后随温度继续升高，CO₂ 相继续变小，但在没消失之前又变大，发生泄漏或爆裂，无法获得均一温度；第二种方式为 CO₂ 相首先消失，然后 NaCl 子晶消失或在消失前爆裂，可获得少数均一温度，但多数只能测出爆裂或泄漏温度。

在富 CO₂ 相包裹体中，纯液相 CO₂ 包裹体冷冻到 -34℃ 至 -42℃ 时，大多数包裹体出现一个气泡 V_{CO₂} 相，继续冷冻到 -87℃ 至 -105℃ 时液相突然凝固，形成若干微小晶体。回温时，一般在 -56.6℃ 至 -58.1℃ 间晶体熔化消失，气泡复原。继续回温，气泡在很窄的温度间隔内消失（见表 1）。

富 CO₂ 液液两相包裹体 (L_{CO₂} + L_{H₂O}) 冷冻时，一般在 -0.5℃ 至 -7℃ 时出现收缩 CO₂ 气泡，三相点温度为 -57.5℃ 左右。

富 CO₂ 液气三相包裹体，当在室温 14℃ 条件下观察时，存在 L_{CO₂} + L_{H₂O} + V_{CO₂} 三相，当升温时 V_{CO₂} 相在 16.6℃ 至 21.8℃ 时消失。

上述富 CO₂ 包裹体在加热过程中，尚无法测出均一温度，不仅是因为纯液相 CO₂ 包裹体本身为单一液相，而且多相包裹体也都在均一前爆裂，只能测出爆裂温度。

4 成矿流体的压力、温度、密度性质

4.1 流体密度

根据 CO₂ 相的部分均一温度 (L_{CO₂} + V_{CO₂} → L_{CO₂})，计算了富 CO₂ 相包裹体中 CO₂ 的密度（表 1），可以看出：磁黄铁矿碳酸盐阶段 CO₂ 的密度与变质分异脉体中 CO₂ 的密度相近，大于辉碲铋矿碳酸盐成矿阶段的 CO₂ 的密度。从成矿早阶段到到晚阶段 CO₂ 的密度是降低的，碲的成矿是在 CO₂ 含量递降的过程中发生的。

表 1 富 CO₂ 包裹体 CO₂ 相均一温度和密度

包裹体类型	样品编号	样品名称	CO ₂ 相均一温度/℃ ^①	CO ₂ 相密度/(g/cm ³)
L _{CO₂}	95D-29	斜长角闪岩中变质分异石英脉	-32.0~-28.5	1.08~1.07
L _{CO₂}	95D-23	斜长角闪岩中变质分异石英脉	-25.0~-22.7	1.05~1.04
L _{CO₂}	95D22-1	斜长角闪岩中变质分异石英脉	-14.8~-10.0	1.01~0.98
L _{CO₂}	95DY-1	含辉碲铋矿白云母碳酸盐石英脉	-14.7~-12.0	1.01~0.99
L _{CO₂}	95DY-2	含辉碲铋矿白云母碳酸盐石英脉	-18.2~-16.0	1.02~1.01
L _{CO₂}	95DY-8	磁黄铁矿碳酸盐脉	-22.6~-16.6	1.04~1.01
L _{CO₂} + L _{H₂O}	95DY-5	磁黄铁矿辉碲铋矿碳酸盐脉	-0.5~-7.0	0.97~0.93
L _{CO₂} + V _{CO₂} + L _{H₂O}	95DY-11	辉碲铋矿碳酸盐脉	+16.6~+21.8	0.81~0.76

① 指 L_{CO₂} + V_{CO₂} → L_{CO₂} 时的均一温度

由于在磁黄铁矿辉碲铋矿碳酸盐(95DY-5)和辉碲铋矿碳酸盐(95DY-11)脉中,包裹体除含丰富的 CO_2 外,还含有一定量的水溶液,因此流体的整体密度受控于 CO_2 和水的密度和体积。目测得95DY-5号样品包裹体中 CO_2 相体积百分比多数为70%~100%,95DY-11号样品中为60%~80%。设该两样品水溶液相的密度为 1 g/cm^3 ,计算得到95DY-5号样品包裹体中流体的整体密度为 0.96 g/cm^3 ,摩尔分数 X_{CO_2} 约为0.68。95DY-11号样品流体的整体密度为 0.85 g/cm^3 , X_{CO_2} 相当于0.43。

4.2 成矿温度与成矿压力

测温实验表明,许多包裹体在均一化前发生泄漏或爆裂,尤其是成矿阶段的包裹体更难以测出均一温度。因此利用包裹体测出的少数均一温度数据缺乏代表性,不宜用作地质温度计。鉴于此,笔者利用矿物温度计估算出磁黄铁矿阶段成矿温度约 500°C 左右,辉碲铋矿阶段成矿温度 400°C 左右。

在利用矿物温度计估算出成矿温度后,根据 CO_2 体系和 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系的压力-密度-温度关系可进一步确定成矿压力。已知磁黄铁矿碳酸盐阶段(95DY-8)成矿温度约 500°C , CO_2 流体密度 $1.04\sim 1.01\text{ g/cm}^3$,据 CO_2 体系的 $T\text{-}V$ 图解^[2]可求得成矿压力约 $450\sim 500\text{ MPa}$ 。在辉碲铋矿碳酸盐阶段(如95DY-11),其成矿温度约 400°C 左右, $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系流体密度 0.85 g/cm^3 , X_{CO_2} 为0.43,在 X_{CO_2} 为0.5的 $P\text{-}T$ 图解^[3]中,可近似求得成矿压力为 240 MPa 左右;若仍取 400°C 作为磁黄铁矿辉碲铋矿碳酸盐阶段的成矿温度,由于95DY-5样品的流体整体密度较大(0.96 g/cm^3), X_{CO_2} 为0.68,推测形成压力可能在 300 MPa 左右。从而可以看出,随着磁黄铁矿阶段向辉碲铋矿阶段的演化,压力是不断降低的。

5 结 论

(1) 在所研究的样品中,出现三大类型包裹体。 CO_2 相普遍存在,成矿作用与 CO_2 的地球化学行为有成因联系。

(2) 在加热过程中,多数包裹体在均一前发生泄漏或爆裂,由于相比率变化不大,不宜用非均匀捕获来解释,更可能是形成时深度大,压力高引起的。

(3) 矿物温度计法测得磁黄铁矿阶段成矿温度 500°C 左右,辉碲铋矿阶段 400°C 左右,成矿压力分别为 $450\sim 500\text{ MPa}$ 和 $240\sim 300\text{ MPa}$,故可以认为矿化是在高温高压条件下发生的。

参 考 文 献

- 1 毛景文,陈毓川,周剑雄等.四川省石棉县大水沟碲矿床地质、矿物学和地球化学.地球学报,1995,(3):26~290.
- 2 Roedder E. Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy, 1984, 12: 231.
- 3 Bowers T S, Heigesson H C. Calculations of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-NaCl}$ on phase relations in geologic systems: metamorphic equilibria at high pressures and temperatures. Am. Mineral, 1983, 68: 1059~1075.