

胶东苏鲁地体范家埠金矿流体包裹体和稳定同位素特征及对成矿流体来源的指示

毕诗健^{1,2}, 李建威^{1,2}

(1 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 2 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

范家埠金矿是胶东半岛苏鲁地体内规模最大的石英脉型金矿, 地处苏鲁北缘威海地区 (122°06'04"~122°07'09"E, 37°23'36"~37°24'42"N), 其西侧为胶北地体的牟平-乳山成矿带。矿区出露地层主要是下元古界荆山群禄格庄组, 岩性为矽线石黑云母片岩、黑云斜长变粒岩夹大理岩及斜长角闪岩。新元古代荣成、威海花岗质片麻岩呈规模较大的岩株侵入于下荆山群变质表壳岩系, 属 TTG 成分到花岗岩成分的正片麻岩, 岩性均一, 条带状构造及混合岩化发育, 地球化学和同位素年代学特征较为一致 (翟明国等, 2000), 均属于 700~800 Ma 期间扬子地台周缘新元古代岩浆事件的产物 (Iskizaka et al., 1994; Ames et al., 1996; 李向辉等, 2007)。大量中生代侵入岩体侵入新元古代片麻岩中, 呈侵入杂岩体或岩株产出。年代学研究表明 (Chen et al., 2003; Guo et al., 2005; Yang et al., 2005a; 2005b), 苏鲁地体的中生代侵入岩主要形成于晚三叠世 (215~200 Ma; 代表性岩体有邢家碱性辉长岩、甲子山辉石正长岩及槎山正长花岗岩)、晚侏罗世 (160~150 Ma; 代表性岩体有垛山花岗岩闪长岩、文登花岗岩) 和早白垩世 (115~105 Ma; 代表性岩体有六度寺辉石闪长岩、三佛山钾长斑状花岗岩和伟德山花岗岩)。另外还有大量细粒二长花岗岩和辉长岩-煌斑岩等侵入花岗质片麻岩中, 呈近东西向脉岩产出。区内地质构造复杂, 大型韧性剪切带发育, 主要包括米山、荣成及石岛韧性剪切带, 控矿断裂主要为范家埠-金谷顶断裂, 走向 320~300°, 倾向南西, 倾角 35~70°, 断裂在平面、剖面上均呈舒缓波状展布。断裂带由角砾岩、碎裂岩、绢英岩组成, 有含金石英脉矿体贯入, 山东省地矿局区域地质调查大队 (1992) 根据破碎带内钾长石的 K-Ar 年龄 (76 Ma) 认为, 断裂活动时代主要为燕山晚期。

范家埠金矿的矿石矿物主要为黄铁矿, 少量至微量方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、金银矿、自然金及碲化物等; 脉石矿物以石英为主, 其次为绿泥石、钾长石、方解石等。硫化物在石英中常呈条带状、团块状或浸染状分布。矿石结构以粒状结构、碎裂结构、交代残余结构为主。金主要以自然金、银金矿产出, 其次为碲金矿或碲金银矿。扫描电子显微镜观察及能谱分析 (SEM-EDS) 表明, 碲银矿、碲金银矿及自然金密切共生并经常产于黄铁矿裂隙中, 碲银矿与方铅矿关系也较为密切。围岩蚀变较发育, 主要为硅化、钾长石化、黄铁矿化等, 蚀变带由硅化钾化片麻岩质碎裂岩、硅化钾化碎裂岩、黄铁绢英岩化碎裂岩、硫化物石英脉组成, 分带性明显, 各蚀变带之间为渐变过渡关系。

范家埠金矿床含金石英脉中锆石阴极发光和激光剥蚀 ICP-MS 微量元素及 U-Pb 同位素分析结果表明, 含金石英脉中的锆石均为捕获围岩(新元古代威海片麻状花岗岩)的岩浆锆石, 其中 15 个颗粒在 U-Pb 图解上位于谐和线上, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(726 \pm 14) \text{ Ma}$ (MSWD = 4.6); 另外 7 颗锆石位于不一致线上, 其上交点年龄为 $(758 \pm 25) \text{ Ma}$, 下交点年龄为 $(123 \pm 11) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.45)。其中上交点年龄与锆石的谐和年龄在误差范围内一致, 代表了围岩的年龄。锆石的下交点年龄可能代表了捕获锆石被成矿流体交代的时间, 与金矿脉旁侧斜闪煌斑岩脉的角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 $(118.8 \pm 1.6) \text{ Ma}$ 和 $(117.5 \pm 1.5) \text{ Ma}$ 在误差范围内一致 (李建威等, 2010), 也与威海地区其他基性脉岩的年龄 (刘燊, 2004) 相符, 反映威海地区早白垩世广泛的基性岩浆活动和伸展的构造环境。胶北地体的石英脉型和蚀变岩型金矿区内基性脉岩也十分发育, 不同矿区内的脉岩侵位时间相近, 主要集中在 130~110 Ma (谭俊等, 2008; 刘燊, 2004), 与胶北地体金矿床大规模成矿作用的时间 $(120 \pm 10) \text{ Ma}$; Yang et al., 2001; Li et al., 2003; 2006) 几乎

完全吻合。由此可以认为,苏鲁地体和胶北地体的金矿成矿作用均发生于早白垩世晚期约 120 Ma 左右(李建威等, 2010)。

显微镜下观察发现,范家埠金矿主矿体富含硫化物石英脉中,石英含有丰富的流体包裹体。包裹体形态以负晶形、似圆形、椭圆形居多,长条状、三角形及其他不规则形状等次之。包裹体大小主要集中在 4~15 μm ,大者可至 32 μm 。包裹体类型主要为气液两相包裹体,少量含 CO_2 三相包裹体及单相包裹体。对气液两相流体包裹体进行均一温度 T_h 和冰点 $T_{m,ice}$ 测定,流体包裹体的均一温度为 205.9~393.7 $^{\circ}\text{C}$,峰值 260~320 $^{\circ}\text{C}$,基本呈正态分布;冰点温度变化于-11.5~-20.8 $^{\circ}\text{C}$,据此计算的流体包裹体盐度范围为 15.5%~23.2%,表明成矿流体具中高温、中高盐度特点。范家埠金矿含金石英脉中石英脉的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 -3.84‰~-4.05‰, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -82.5‰~-80.8‰。将胶北地体不同类型金矿床和不同地区盆地流体的 H-O 同位素组成投在 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 关系图上,显示范家埠金矿的 H-O 同位素与胶北地体的石英脉型和蚀变岩型金矿床(靠近岩浆水范围)存在明显差异,但与胶莱盆地北侧的盆地边缘砾岩型金矿同位素特征接近(张连昌等, 2001)。另外,范家埠金矿样品的分析结果位于北美 Alberta 盆地卤水演化线上(Connolly 等, 1990),与华北克拉通典型盆地(渤海湾盆地)的建造水(Pang, 2000)也较接近。5 个硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 -5.5‰~-9.1‰,与胶北地体内金矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ (2‰~13‰)也有很大不同。

苏鲁地体范家埠金矿床成矿流体具有较低的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值,与胶北地体同时期金矿床的 H-O 同位素组成有明显差异。其流体包裹体的高盐度($w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 15.5%~23.2%)特征也显著不同于胶北地体金矿床的低盐度流体($w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) < 10\%$)。虽然流体沸腾也可以形成高盐度的成矿热液,但通过对范家埠金矿流体包裹体的详细研究没有发现流体沸腾的证据。范家埠金矿成矿流体的 H-O 同位素组成和盐度特征与 Alberta 含油气盆地卤水及华北克拉通内渤海湾盆地冀东凹陷建造水的 H-O 同位素及高盐度特征较一致(Connolly et al., 1990; Pang, 2000),表明范家埠金矿床成矿流体具有盆地卤水(高盐度、低 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、低 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$)的特点。范家埠金矿床的硫同位素组成($\delta^{34}\text{S} = -5.5\text{‰} \sim -9.1\text{‰}$)与胶北地体内金矿床、胶东群(荆山群)、花岗岩、中基性脉岩等的硫同位素组成也有明显差异,而与 Alberta 盆地内 H_2S 气体及富含黑色页岩的 Mackenzie River 盆地中硫化物的硫同位素组成相似(Calmels et al., 2004; Fouillac et al., 1990),表明范家埠金矿成矿流体中相当部分硫可能来自胶莱盆地,成矿环境为富含有机质的还原条件。

位于苏鲁地体西南部的胶莱盆地是以郯庐断裂、五莲断裂为界的中生代拉伸盆地,其北侧发育众多沿 NNE 向断裂展布的盆地边缘角砾岩型金矿(如蓬家乔、发云乔等)。张连昌等(2002)对蓬家乔金矿床成矿流体的研究表明,其 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值接近于大气氩的同位素组成(295.5)、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 及 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值显著偏离岩浆水的 H-O 同位素组成,认为成矿流体主要来自于大气降水。虽然张连昌等(2002)没有对上述角砾岩型金矿成矿流体的盐度进行研究,但有数据表明,靠近胶莱盆地的金矿床成矿流体盐度比区域上其他金矿床要高(侯明兰等, 2007)。胶莱盆地莱阳组中大量灰黑色页状粉砂质白云岩、泥岩及黑色页岩及原油和沥青的发育(李桂群等, 1994),记录了还原条件下的深湖-半深湖陆相沉积(任拥军等, 2003)。已有的油气勘探工作表明胶莱盆地中的原油和沥青主要分布在胶莱盆地的东南缘和东北角,靠近五莲-米山断裂(李桂群等, 1994),后者可为盆地中富含有机质的还原性盆地流体运移进入盆地外缘参与金矿成矿提供必要的构造条件。

综上所述,范家埠金矿床在矿化特征、成矿时代等方面与胶北地体的金矿床基本相似,但流体包裹体及 H-O-S 稳定同位素特征表明,成矿流体具有盆地热卤水(高盐度、低 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、低 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$)的特点,暗示范家埠金矿的成矿流体可能来源于中生代胶莱盆地。这种盆地流体沿深大断裂—五莲-米山断裂及其次级构造迁移,同时萃取基底岩石中的金形成含矿热液并在还原的环境中成矿。

参 考 文 献 (略)