

新疆乔尔山金矿成矿流体地质作用特征*

杨荣勇 李兆麟 毛艳华 孙晓明 翟伟

(中山大学地球科学系, 广州)

提 要: 新疆乔尔山金矿与韧性剪切带有关, 主要有四个矿化阶段。本文通过矿物中包裹体研究, 系统测定了本区不同类型金矿成矿物理化学条件, 其中流体体系具有富 CO_2 的特征, 熔融包裹体均一温度达 $900\sim 1100^\circ\text{C}$, 气液包裹体均一温度为 $240\sim 400^\circ\text{C}$, 确定成矿流体体系为 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$; 区分了矿床南段及北段包裹体特征, 并查明金矿中包裹体的找矿标志。

关键词: 金矿 流体地质作用特征 新疆乔尔山

1 地质概况

乔尔山金矿属与韧性剪切带有关的金矿床, 位于新疆鄯善县南约 120 km 处, 其赋矿围岩地层主要为志留-泥盆系深海沉积物, 经区域变质而成的变质粉砂岩等, 局部夹含黄铁矿硅质岩。该矿床是多种地质作用的产物, 由南北两种不同类型的矿床组成。主要分为四个矿化阶段: I 阶段——区域变质作用分异的石英脉; II 阶段——顺剪切带片理含金石英脉及碎裂岩阶段; III₁ 阶段——韧性剪切带晚期硫化物石英脉阶段; III₂ 阶段——破碎带蚀变岩石英脉阶段; IV 阶段——碳酸盐石英脉阶段^[1]。不同构造条件下金矿化具明显差异, 乔尔山南部金矿床以变质热液金矿化为主, 在北部破碎带蚀变岩型金矿化与多阶段的岩浆热液叠加有着密切的关系。本文对该矿床中的矿物包裹体进行了研究, 以揭示成矿流体的地质作用特征。

2 矿物包裹体类型和特征

本区不同类型石英脉及金矿化脉中矿物包裹体特征如下:

(1) 区域不同类型岩石中石英脉包裹体特征: 包裹体以液相包裹体为主, 大小 (μm) $n \times n \sim 10 \times 25$, 数量较多, 呈不均匀或线状分布。原生包裹体多呈定向排列, 反映出石英结晶时受构造应力的影响。包裹体中气相比例 $5\% \sim 35\%$, 气相常呈暗黑色, 可能与含少量甲烷有关, 此外还见少量含 CO_2 包裹体。具变质包裹体的特征。

(2) 乔尔山南段硅化糜棱岩金矿石英脉: 矿石中包裹体广泛分布, 以固体相、液相包裹体为主, 并含较多 CO_2 包裹体, 大小 (μm) $n \times n \sim 10 \times 15$, 呈定向规则排列居多, 部分呈环带状分布。包裹体特征与上述变质流体包裹体相似, 矿化与变质热液相关。

(3) 乔尔山北段破碎带蚀变岩型金矿脉: 包裹体类型复杂, 首次在该区矿石中发现熔融包裹体, 熔融-流体包裹体, 反映出具岩浆流体的特征。此外, 含较多 CO_2 包裹体、多相包

* 国家自然科学基金项目 (49703043), 国家 305 项目基金 (85-902-05-05) 及中山大学前缘课题资助
杨荣勇, 1964 年生, 博士, 副教授, 从事矿床学、地球化学、岩石学的教学和研究。邮政编码: 510275

裹体及液相包裹体, 熔融包裹体体积较小为 $3\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$, 气-液包裹体较大为 $(\mu\text{m})\ 5 \times 10 \sim 20 \times 30$, 呈不规则状或线状定向排列分布, 存在大量次生与假次生包裹体。与上述两种类型区别明显, 反映出金矿形成受多阶段岩浆热液活动叠加的性质。

综上所述, 乔尔山南段金矿床以液相包裹体为主, 成矿流体具变质热液的特征; 乔尔山北段金矿床以熔融包裹体、熔融-流体包裹体等类型为特征, 成矿流体属岩浆热液的性质。

3 乔尔山金矿床成矿物理化学条件

3.1 成矿温度测定

运用均一法、爆裂法测温得出乔尔山金矿床矿物包裹体的温度(见表1), 不同产地的特点表现如下。

表1 乔尔山金矿床矿物包裹体均一温度测定结果

产地	矿床类型	均一温度/℃	爆裂温度/℃
变质岩中的石英脉	变质热液	320~360	380~430
乔尔山金矿南段	韧性剪切带型	早期 285~340 晚期 260~280	早期 380~450 晚期 300~380
乔尔山金矿北段	破碎带蚀变岩型	气液包裹体 320~390 熔融包裹体 900~1100	320~500

(1) 区域变质岩中石英脉形成温度为 $291 \sim 390\ ^\circ\text{C}$, 主要温度区间 $320 \sim 360\ ^\circ\text{C}$, 爆裂温度 $380 \sim 430\ ^\circ\text{C}$, 与本区低绿片岩相变质岩形成温度基本一致。

(2) 乔尔山南段韧性剪切带金矿床早阶段硅化糜棱岩型矿化石英脉(Ⅱ阶段)形成温度变化在 $260 \sim 380\ ^\circ\text{C}$, 主要成矿温度 $285 \sim 340\ ^\circ\text{C}$, 爆裂温度为 $380 \sim 450\ ^\circ\text{C}$ 。Ⅲ₁阶段成矿温度为 $260 \sim 280\ ^\circ\text{C}$, 爆裂温度为 $300 \sim 380\ ^\circ\text{C}$, 与上述变质岩中石英脉形成温度相近似, 属变质热液型金矿。

(3) 乔尔山北段破碎带蚀变岩型金矿床是由于多阶段岩浆热液活动的结果, 因此具不同类型包裹体。热液阶段气-液相包裹体均一温度变化在 $290 \sim 520\ ^\circ\text{C}$, 主要温度区间为 $320 \sim 390\ ^\circ\text{C}$, 爆裂温度为 $320 \sim 500\ ^\circ\text{C}$, 与均一温度相近似, 代表本区金矿化的主要成矿温度, 明显高于乔尔山南段金矿化温度。此外, 本区金矿床产于闪长岩内外接触带的矿脉中, 常含熔融包裹体及熔融-流体包裹体(均一温度为 $900 \sim 1100\ ^\circ\text{C}$), 在邻区孔雀沟金矿其成矿条件与乔尔山北段金矿相似, 在此金矿脉中亦发现熔融包裹体, 其均一温度为 $850 \sim 1150\ ^\circ\text{C}$, 与山东三山岛、台上同类金矿熔融包裹体均一温度(分别为 $780 \sim 940\ ^\circ\text{C}$, $750 \sim 820\ ^\circ\text{C}$)相比, 本区熔融包裹体具更高的均一温度, 它代表早期岩浆熔融-流体的温度^[2]。本区金矿熔融包裹体, 熔融-流体包裹体的发现对探讨成矿流体的来源及矿床成因具有重要意义。

3.2 成矿溶液浓度测定

该金矿成矿溶液的冰点测定、浓度及密度计算结果表明:

(1) 变质岩中石英脉包裹体流体冰点为 $-10.5\ ^\circ\text{C}$, 盐度为 $14.5\% \text{ NaCl}$, 密度为 0.74

g/cm^3 , 捕获压力为 41 MPa, 比一般变质流体盐度高。

(2) 乔尔山南段金矿床, 韧性剪切带硅化糜棱岩金矿石英脉(Ⅱ阶段)包裹体流体冰点为 $-10.3 \sim -18.0^\circ\text{C}$, 盐度为 14.3%~21.3% NaCl, 密度 $0.85 \sim 0.89 \text{ g}/\text{cm}^3$, 捕获压力为 91~163 MPa。韧性剪切带韧-脆性断裂阶段(Ⅲ₁阶段)成矿流体冰点为 $-8.0 \sim -12.5^\circ\text{C}$, 盐度为 11.7%~16.5% NaCl, 密度为 $0.74 \sim 0.938 \text{ g}/\text{cm}^3$, 成矿压力为 44~115 MPa。本区成矿流体盐度高于变质流体, 早阶段高于晚阶段, 成矿压力高于区域变质压力, 反映出韧性剪切构造作用对成矿流体的影响。

(3) 乔尔山北段金矿床, Ⅲ₁阶段成矿流体冰点为 $-11.5 \sim -18.5^\circ\text{C}$, 盐度为 15.5%~21.6% NaCl, 密度为 $0.78 \sim 1.15 \text{ g}/\text{cm}^3$, 成矿压力为 50~170 MPa。Ⅲ₂阶段成矿流体的冰点为 $-12 \sim -13^\circ\text{C}$, 盐度为 16.5%~17.0% NaCl, 成矿压力为 $630 \sim 660 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。Ⅳ阶段流体冰点为 -5.30°C , 盐度为 8.4% NaCl, 密度为 $0.90 \text{ g}/\text{cm}^3$, 压力为 $710 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。本区金矿床成矿流体性质与南部金矿相比, 盐度及密度上升。而从早阶段至晚阶段(Ⅲ₁→Ⅲ₂、Ⅳ), 成矿流体的盐度与密度下降, 反映出本区成矿流体具多阶段岩浆热液演化的特性。据流体三相点的测定(T_{fm}), 可以大致反映出流体体系的性质, 乔尔山南段及北段金矿床成矿流体三相点(T_{fm})较低, 其中南段为 $-37 \sim -55^\circ\text{C}$, 与 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系相似, 北段为 $-36 \sim -62^\circ\text{C}$, 体系成分较为复杂, 可能为 NaCl-MgCl₂-H₂O (-35°C) 以及 NaCl-KCl-CaCl₂-Na₂CO₃-MgCl₂-H₂O 等多组分体系。

3.3 乔尔山金矿床成矿溶液成分分析

成矿溶液成分能反映出流体形成、演化以及成矿过程中流体化学特性的变化。乔尔山矿床流体化学成分分析结果表明:

(1) 变质岩中石英脉流体成分: 阳离子浓度为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, 阴离子为 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^-$, 其中 Na^+/K^+ 比值为 4.56~8.1, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 为 0.24~0.27, $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 为 5.24~20.9, 流体以富 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 为特征, 体系属 Ca^{2+} - Na^+ - K^+ - HCO_3^- - Cl^- - H_2O , 反映出变质流体受围岩化学成分所制约。

(2) 乔尔山南段金矿床成矿流体成分: 本区含矿与不含矿流体在成分上有较大区别, 不含矿流体阳离子, $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, 阴离子, $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{F}^-$, Na^+/K^+ 比值为 4.49, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 为 0.542, $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 为 3.67, 体系性质属 Mg^{2+} - Ca^{2+} - Na^+ - HCO_3^- - SO_4^{2-} - H_2O , 流体性质与变质流体相近似, 其中 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 含量较上述变质流体高, $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值下降。含矿流体 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 含量比非含矿流体明显升高, HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 略低, 阳离子特征为 $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, 阴离子为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$, Na^+/K^+ 比值为 2.68, $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 为 4.419, $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 为 1.37, 其中 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 比值远高于变质流体和非含矿流体, 它们可作为本区金矿化地球化学指示剂。本区成矿流体体系属: Na^+ - K^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - HCO_3^- - Cl^- - H_2O 。

(3) 乔尔山北段矿床成矿流体成分: 本区金矿床各成矿阶段流体成分相似, 以含 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 较高为特征, 其中阳离子: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} \geq \text{Mg}^{2+}$ 。阴离子: $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$, 与南段金矿流体比较, K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 含量升高, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 含量下降。含矿流体以富含 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 及 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 、 Cl^-/F^- 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$

比值高为特征。本区金矿流体体系属 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ，具岩浆热液的特性。

(4) 晚期碳酸盐石英脉流体成分，本阶段不含金矿，石英脉常含较多菱铁矿，流体成分与早阶段含矿流体相比， K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 含量明显下降，而 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 略有升。

上述结果表明该金矿流体形成、演化与成矿过程中流体化学组成存在规律性变化，它与围岩的性质、流体来源及形成时间密切相关，不同区域及成矿阶段流体的体系性质各异。

3.4 乔尔山金矿床包裹体微量气体成分

乔尔山金矿床包裹体微量元素气体分析结果表明，各类流体包裹体气相成分富含 H_2O 的特点，其次为 CO_2 ， $\text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2 > \text{CO} \geq \text{CH}_4$ 。变质岩石英脉中变质流体包裹体 H_2O 特别高，占总量的 73.8%~91.1%，而 CO_2 含量只占 7.68%~18.4%。南段金矿流体包裹体 H_2O 含量 (76.8%) 近于变质流体包裹体，但 CO_2 含量升高 (21.6%)，反映包裹体成因与变质作用有关。本区含矿流体包裹体中 CH_4 含量高于非含矿者。乔尔山北部金矿床成矿流体包裹体 H_2O 含量较低， CO_2 及 CH_4 含量较高，这一特征与岩浆热液性质相符。本区成矿流体包裹体 CO_2 含量高，可作为金矿化的找矿标志。

4 乔尔山金矿成矿机制讨论

乔尔山南段金矿床，包裹体类型以液相包裹体为主，成矿温度为 260~340℃，变化范围为 240~400℃，压力为 44~163 MPa，盐度为 14.3%~21.2% NaCl，密度为 0.74~0.93 g/cm³，流体体系由 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ 组成。H、O 同位素资料表明流体来源以变质水为主，此类金矿床是强烈韧性剪切作用使该区志留-泥盆系地层或深部地层岩石中产生去 H_2O 、Si、Na、K、Ca 作用，并使地层中成矿元素产生活化转移，形成含矿变质流体，并沿构造裂隙入侵充填成矿，属变质热液型金矿。

乔尔山北段金矿床，包裹体类型复杂，含熔融包裹体、熔融-流体包裹体，三相、多相包裹体，含 CO_2 流体包裹体及气液相包裹体。熔融包裹体-温度为 850~1150℃，成矿流体温度为 270~390℃，压力为 50~170 MPa，盐度为 12%~22.3% NaCl，密度为 0.78~1.15 g/cm³，流体体系由 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ 组成。据 H、O 同位素分析，流体来源以岩浆水为主，混有少量变质水。该类型金矿床以出现复杂的包裹体类型为特征，且矿化常与含 CO_2 包裹体伴生，并具有高盐度的特征，这可作为本区具工业价值金矿床的找矿标志。据包裹体特征，本类型金矿床流体具熔体-溶液性质，其来源与闪长岩体或深部幔源岩岩浆粒间溶液相关。本类型金矿床由于侵入岩的性质及围岩的时代不同，且本区矿石中矿物包裹体类型复杂，形成温度亦较高，可能属于新型的韧性剪切带金矿床。

参 考 文 献

- 1 李兆麟，孙晓明，杨荣勇等. 新疆南天山志留-泥盆系地层中金矿床的首次发现及其地质意义. 矿床地质, 1996, 15 (3): 287~288.
- 2 李兆麟，杨荣勇，孙晓明等. 地质作用中流体形成演化与成矿作用. 地学前缘, 1996, 3 (4): 237~244.