

小秦岭含金石英脉复式成因的流体包裹体证据

范宏瑞 谢奕汉 赵 瑞 王英兰

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029. Email: fanhr@mail.igcas.ac.cn)

摘要 小秦岭地区太古代变质岩、燕山期花岗岩及含金石英脉中流体包裹体研究发现, 区域变质热液为高温高盐度的流体, 燕山期花岗岩浆期后热液为含 CO_2 的低盐度流体, 而典型金矿成矿热液也为富含 CO_2 的低盐度流体, 但在金矿区无金或贫金地段的石英脉中残留有变质热液特有的含子矿物高盐度流体包裹体, 这说明石英脉可能是在早期变质作用过程中就已形成, 后期又被燕山期后含金热液叠加改造并成矿。

关键词 流体包裹体 含金石英脉 复式成因 小秦岭

小秦岭金矿田横跨豫、陕两省, 现已发现含金石英脉 1 200 余条, 是我国第 2 大黄金产出集中地, 该区金矿成因一直是国内外矿床地质界研究和讨论的热点, 虽然有学者曾将其归为变质热液成因, 但目前普遍认为金矿的形成与燕山期同构造-花岗岩浆热液活动密切相关^[1~4]。本文将根据流体包裹体研究结果, 探讨含金石英脉的形成历程, 进而对金矿成因提出新的认识。

1 区域和矿床地质概况

小秦岭金矿田位于华北克拉通南缘华山-熊耳地块中西部, 其范围西起陕西省华山, 东至河南省灵宝-朱阳盆地西北边缘, 北、南以太要(F_1)和小河(F_2)断裂为界, 呈不规则带状, 东西向长约 70 km、宽约 7~15 km(图 1)。区内出露地层主要为结晶基底太古界太华群深变质片麻岩系, 岩浆岩以燕山期经重熔或改造形成的花岗岩最为发育, 自西向东形成了华山、文峪和娘娘山黑云(角闪)二长花岗岩基。地质构造主要由轴向近东西的复式褶皱和走向近东西的区域性断裂组成。含金石英脉多赋存在太华群变质岩系内规模相对较小的断裂构造带(脆-韧

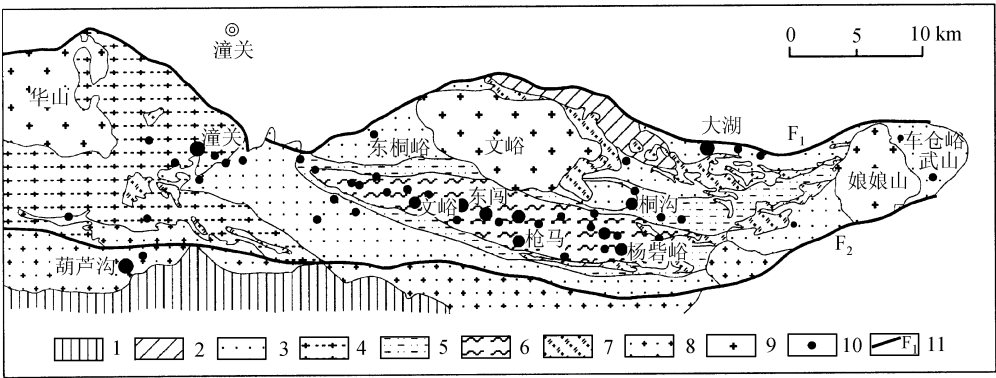


图 1 小秦岭地区区域地质及金矿床分布略图

据黎世美等人^[2]资料改绘。1. 中元古界蓟县系; 2. 太古界太华群上亚群大理岩-钙硅酸盐组合; 3. 太华群上亚群黑云斜长片麻岩-变粒岩组合; 4. 太华群上亚群花岗质片麻岩夹基性岩包体; 5. 太华群上亚群石英岩-石墨砂线黑云片麻岩组合; 6. 太华群下亚群斜长角闪岩-片麻岩组合; 7. 区域变质成因花岗伟晶岩; 8. 中岳-熊耳期花岗岩; 9. 燕山期黑云(角闪)二长花岗岩; 10. 金矿床(黑圈大小代表相对规模); 11. 区域边界断裂

性和脆性断裂带)中, 并主要围绕燕山期文峪花岗岩体呈近东西向延伸(图 1)^[1,2].

金矿体主要以脉状和透镜状产于石英脉中, 其走向以北西西为主, 少数为南北向. 矿体一般长 30 ~ 300 m, 最长者可达 4 000 m 以上(如杨砦 60 脉、文峪 505 脉、潼关 Q505 脉和潼关 Q8 脉等), 延深 100 ~ 600 m, 厚度一般 0.2 ~ 6 m, 最厚 10 m 以上. 金平均品位 6 ~ 16 g/t. 矿石类型可分为黄铁矿型和多金属硫化物型, 主要矿物为石英(一般占 70% ~ 90%), 次要矿物为黄铁矿(5% ~ 10%, 局部 > 30%)、方解石、绢云母、钾长石、铁白云石及方铅矿、黄铜矿和闪锌矿, 微量矿物在矿脉中一般占 1% ~ 2%, 如磁铁矿、黑钨矿、白钨矿、磁黄铁矿、自然金、银金矿和碲金矿等. 与成矿密切相关的围岩蚀变主要有硅化、黄铁绢英岩化、绢云母化、钾长石化和碳酸盐化等^[2,3].

2 各类热流体的特征

为了对比金矿成矿热液与区域变质热液和燕山期花岗岩浆期后热液的异同, 我们对区内各类变质岩及变质成因伟晶岩、燕山期二长花岗岩和含金石英脉中的流体包裹体(表 1)及其氢氧同位素进行了系统研究.

(1) 高盐度的区域变质流体. 本区太古界太华群各类片麻岩、混合岩及变质成因花岗伟晶岩和长英质细脉中均含有较丰富的流体包裹体, 其类型主要为与区域变质及混合岩化作用有关的原生多相(含石盐、钾盐子矿物)流体包裹体(图 2(a))和后期成因的次生低盐度水溶液包

表 1 小秦岭地区不同时代和不同性质的热流体研究结果

研究对象	特征流体包裹体 (测试样品数)	均一温度 (峰值)/℃	盐度/% (NaCl)	主要气相成分及含 量×10 ⁻⁶ /mol·g ⁻¹	热液性质
变质岩、变质成因 伟晶岩	含子矿物包裹体(33)	420 ~ 240 (330)	44.9 ~ 31.9	H ₂ O: 2.47 ~ 5.30 CO ₂ : 0.31 ~ 1.36 CH ₄ : <0.01 ~ 0.03 CO: 0.01 ~ 0.05	中、高温高盐度流 体
文峪、娘娘山燕山 期二长花岗岩	含 CO ₂ 包裹体(15)	375 ~ 312 (350)	11.3 ~ 8.4	H ₂ O: 5.73 ~ 0.83 CO ₂ : 3.12 ~ 6.58 CH ₄ : <0.01 ~ 0.02 CO: 0.01 ~ 0.08	中、高温含 CO ₂ 流 体
潼关、东桐峪、文 峪、东闯、枪马、 桐沟、大湖和武山 等矿区含金石英脉	富 CO ₂ 包裹体(70) CO ₂ -H ₂ O 包裹体(80) 水溶液包裹体(100)	365 ~ 278 (320) 286 ~ 210 (260) 215 ~ 109 (180)	10.0 ~ 6.1	H ₂ O: 3.20 ~ 17.04 CO ₂ : 0.65 ~ 8.51 CH ₄ : <0.01 ~ 0.09 CO: 0.01 ~ 0.41	中温富含 CO ₂ 流体
桐沟、枪马、文峪 和武山等矿区无(贫) 含金石英脉	原生含子矿物包裹 体(12)次生富 CO ₂ 包裹体(45)	320 ~ 232 (300) 370 ~ 275 (310)	39.4 ~ 33.5 8.5 ~ 5.1		原生高盐度流体 后生富含 CO ₂ 流体

裹体. 根据显微测温结果, 变质流体为相对中-高温(420 ~ 240℃)、高盐度(44.9% ~ 31.9% NaCl)的热液. 对本区不同地点的变质岩、混合岩和花岗伟晶岩中的流体包裹体研究表明, 其类型、均一温度、盐度都具有极大的相似形, 说明整个地区的变质流体性质是相对均匀的.

(2) 燕山期花岗岩浆期后低盐度含 CO₂ 流体. 经重熔形成的燕山期文峪和娘娘山二长花岗岩体之石英斑晶及岩体内脉石英中流体包裹体类型主要为含 CO₂ 包裹体(图 2(b))和少量次生的低盐水溶液包裹体, 它们均是由花岗岩浆期后热液形成的包裹体. 根据显微测温结果, 燕

山期花岗岩浆后热液为中温($375 \sim 312^{\circ}\text{C}$)、相对低盐度($11.3\% \sim 8.4\% \text{ NaCl}$)、含 CO_2 (CO_2 充填度 $0.05 \sim 0.45$)的流体。

(3) 金矿床低盐度富含 CO_2 的成矿流体。根据矿物共生组合, 本区金矿床含金石英脉可分为 3 个成矿阶段, 第 1 阶段形成了大量的石英和少量的钾长石、黄铁矿、磁铁矿及黑钨矿等矿物, 它们构成了石英脉的主体, 前人^[3]也称为石英黄铁矿阶段; 第 2 阶段形成了大量的硫化物及少量的石英, 硫化矿物主要有黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和磁黄铁矿等, 故也称多金属硫化物阶段; 第 3 阶段则形成了晚期石英-碳酸盐细脉, 其内硫化矿物极少。金的沉淀成矿主要发生在成矿第 2 阶段^[3, 4]。

各成矿阶段的脉石英或碳酸盐中均含有丰富的流体包裹体, 类型主要为 CO_2 包裹体和水溶液包裹体, 其中 CO_2 包裹体又可分为富 CO_2 包裹体(CO_2 充填度 > 0.6)(图 2(c))和 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体(CO_2 充填度 ≤ 0.5)。富 CO_2 包裹体和 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体主要赋存在第 1 阶段形成的脉石英中, 而 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 和水溶液包裹体则主要赋生在第 2 阶段的脉石英中。对本区潼关、东桐峪、文峪、枪马、桐沟、杨砦、大湖、武山等金矿区的富金石英脉中的流体包裹体测温研究表明, 包裹体的均一温度可分为 3 组, 第 1 组均一温度为 $365 \sim 278^{\circ}\text{C}$, 相当于石英脉主体(第 1 阶段)的形成温度; 第 2 组均一温度为 $286 \sim 210^{\circ}\text{C}$, 相当于第 2 阶段大量含金硫化物的形成温度; 第

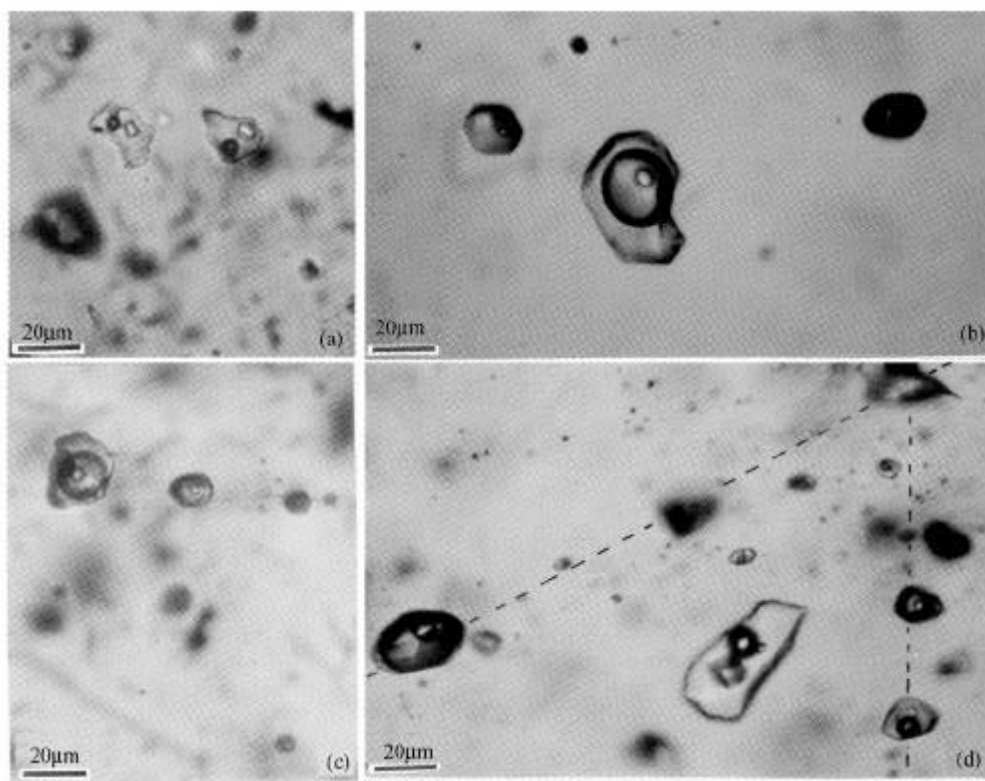


图 2 小秦岭地区不同性质岩石和含金及贫金石英脉中的流体包裹体

(a) 太古界太华群混合岩中原生含盐矿物的高盐度流体包裹体; (b) 燕山期文峪二长花岗岩体中原生含 CO_2 包裹体; (c) 桐沟金矿富矿地段脉石英中次生富含 CO_2 包裹体; (d) 桐沟金矿微弱矿化地段脉石英中共生的原生高盐度流体包裹体和两组(虚线标识)次生含 CO_2 包裹体

3组均一温度为 $215 \sim 109^{\circ}\text{C}$ ，对应于石英-碳酸盐细脉(第3阶段)的形成温度。富 CO_2 包裹体和 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体的盐度一般为 $10\% \sim 6\% \text{ NaCl}$ ，个别可达 $13.9\% \text{ NaCl}$ 。因此金矿成矿流体主要为低盐度($<10\% \text{ NaCl}$)、富含 CO_2 的流体。

(4) 金矿区贫金或无金地段石英脉中的流体包裹体。在对本区桐沟金矿303脉西部末端、枪马金矿410脉上部、文峪505脉下部、车仓峪01脉、娘娘山地区603脉和606脉等贫金或无金地段石英脉中流体包裹体研究表明，脉石英中捕获的包裹体除与含金成矿流体有关的富 CO_2 包裹体外，还赋存有本区变质流体特有的含子矿物高盐度包裹体，有时在同一视域下可同时观察到这两类包裹体共存且具穿插世代关系(图2(d))。含子矿物高盐度包裹体一般为孤立状分布，属原生成因，而富 CO_2 包裹体则为线状分布，属次(后)生成因。根据测温研究，含子矿物高盐度包裹体的均一温度为 $320 \sim 232^{\circ}\text{C}$ ，盐度 $39.4\% \sim 33.5\% \text{ NaCl}$ ；富 CO_2 包裹体的均一温度为 $370 \sim 275^{\circ}\text{C}$ ，盐度 $8.5\% \sim 5.1\% \text{ NaCl}$ 。从镜下包裹体成因期次上来看，脉体中含子矿物高盐度包裹体和富含 CO_2 包裹体应是由不同性质的流体捕获而形成的，测温结果则表明部分次生富 CO_2 包裹体的均一温度反而大于原生含子矿物高盐度包裹体的均一温度，这些现象如用流体沸腾或流体不混溶理论^[5,6]是无法解释的。

3 含金石英脉的复式成因

根据不同时代岩石和脉体中的流体包裹体研究结果，可将本区热流体分为两大类。第1类为高盐热液，其盐度在 32% 以上，为与区域变质-混合岩化作用有关的流体；第2类为低盐度(富) CO_2 热液，为与燕山期花岗岩浆活动及金成矿作用有关的流体。金成矿热液与变质热液性质截然不同，而与燕山期花岗岩浆期后热液有成因联系。因此，小秦岭地区所谓的花岗-绿岩带金矿不是变质共生金矿，而是变质后生金矿，含金成矿热液与燕山期同构造-花岗岩浆活动有关。在流体包裹体水的氢氧同位素组成测试结果图(图3)上，成矿第一阶段的含金热液氢氧同位素组成点都落在岩浆水范围或文峪和娘娘山花岗岩浆期后热液氢氧同位素组成附近，而和区域变质热液氢氧同位素组成不同，这也证明金矿成矿流体和花岗岩浆热液有成因联系。至于成矿第2阶段的含金热液氢氧同位素组成点偏离出变质水和岩浆水区，则是大气水混入造成的。

近年来，随着研究程度的深入及新的测试方法的应用，对小秦岭金矿成矿时代的认识趋于一致。目前大多数学者^[8,9]根据脉岩、花岗岩与矿脉野外穿插关系及其K-Ar、Rb-Sr、U-Pb测年和流体包裹体Rb-Sr测年资料推论金矿成矿作用发生在燕山期($170 \sim 77 \text{ Ma}$)，该结论和上述成矿热液与燕山期花岗岩浆期后热液性质具一致性相吻合。

小秦岭地区已标识的石英脉有千余条，但真正发生金矿化的只是其中的一部分。我们在

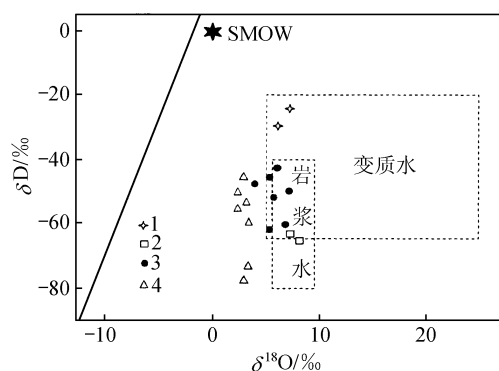


图3 小秦岭地区不同性质岩石和含金石英脉中流体包裹体水氢氧同位素组成

底图据 Taylor^[7]。1. 太古界太华群片麻岩和混合岩中包裹体，2. 燕山期文峪和娘娘山二长花岗岩中包裹体，3. 成矿第一阶段(含金石英脉)中包裹体，4. 成矿第二阶段(含金石英脉)中包裹体

金矿区贫金或无金地段石英脉中普遍发现了与变质流体有关的高盐度包裹体和与金矿成矿流体有关的富 CO_2 包裹体共存现象, 这给重新认识小秦岭地区含金石英脉的形成历程及矿床成因提供了新的证据. 我们认为, 本区石英脉(至少一部分)的主体是由区域变质-混合岩化作用分异形成的, 脉体中曾捕获有大量变质流体成因的高盐度包裹体; 由于石英脉本身又是脆性结构地带, 可为后期热液运移及沉积提供最佳通道和场所, 在由燕山期陆内碰撞造山与花岗岩浆作用^[3,10]生成的富含 CO_2 的含金流体可沿这些古老石英脉内的裂隙上升, 并叠加或交代了变质成因的脉体, 形成现今的含金石英脉. 在成矿流体强烈改造(富矿)地段, 石英脉中原先的变质流体成因的高盐度包裹体被破坏殆尽, 脉体中只能找到与金矿流体有关的富 CO_2 包裹体; 而在弱改造(贫矿或无矿)地段, 变质流体成因的高盐度包裹体则被保留了下来, 由于部分地段的含金成矿热液温度可能高于变质热液温度, 但又不致于使高盐包裹体发生爆裂破坏, 因而出现了上述的同一视域下次生富 CO_2 包裹体穿插原生含子矿物高盐度包裹体且原生高盐度包裹体的均一温度反而小于次生富 CO_2 包裹体的现象.

因此, 小秦岭地区目前的含金石英脉应是多期形成的, 即所谓的复式成因. 薛良伟^[11]在研究桐沟金矿 303 号含金石英脉时, 除有燕山期成矿年龄外, 还曾获得过石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 $(2\ 234 \pm 47)\text{ Ma}$ 、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(2\ 005.88 \pm 40.12)\text{ Ma}$ 数据, 该年龄恰好是本区变质-混合岩化作用的时间, 这从另一角度也证明了含金石英脉的复式成因说.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49773193 和 49172086)及国家“九五”攀登预研(编号: 95-Y-25 和 95-Y-39)资助项目.

参 考 文 献

- 1 胡受奚, 林潜龙. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿. 南京: 南京大学出版社, 1988. 236~255, 359~441
- 2 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦, 等. 小秦岭金矿地质和成矿预测. 北京: 地质出版社, 1996. 67 ~ 178
- 3 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1992. 130~138, 166~186
- 4 周作侠, 李秉伦, 郭抗衡, 等. 华北地台南缘金(钼)矿床成因. 北京: 地震出版社, 1993. 76~113
- 5 Pichavant M, Ramboz C, Weisbrod A. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusion data. (I). Phase equilibria analysis-A theoretical and geometrical approach. Chemical Geology, 1983, 37: 1~27
- 6 Ramboz C, Pichavant M, Weisbrod A. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusion data. (II). Interpretation of fluid inclusion data in terms of immiscibility. Chemical Geology, 1983, 37: 29~48
- 7 Taylor H P. Oxygen and hydrogen isotope relationships. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. 2nd ed. New York: Wiley, 1979. 236~277
- 8 陈衍景, 郭光军, 李 欣. 华北克拉通花岗岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景. 中国科学, D 辑, 1998, 28(1): 35~40
- 9 卢欣祥, 蔚向东, 董 有, 等. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 765~768
- 10 陈衍景. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制. 地学前缘, 1998, 5(增刊): 109~118
- 11 薛良伟. 小秦岭桐沟金矿反转构造及其找矿矿物学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 50~57

(1999-08-01 收稿, 1999-12-14 收修改稿)