河南洛宁段河金矿流体包裹体研究和矿床成因

赖 勇 张 宇 高 栏 李文博

(北京大学造山带与地壳演化重点实验室,北京 100871)

提要:河南省洛宁县段河石英脉型金矿主要包括石寨沟和岭东两个矿区,分别由 3~4 条含金石英脉构成。矿化过程从早到晚包括石英-黄铁矿、石英-多金属硫化物和石英-碳酸盐等 3 个阶段,其中中阶段金矿化最强,次为早阶段。各阶段石英中流体包裹体以气液两相包裹体为主,次为纯液体包裹体。激光拉曼测试表明,气液两相包裹体的液相为 H_2O,气相主要为 H_2O 和 CO_2 混合、纯 H_2O,次为纯 CO_2;纯液体包裹体为纯 H_2O。石寨沟矿区包裹体均一温度从早到晚依次为 240.9~315.9℃,188.7~304.5℃,137.3~259.3℃; 流体盐度变化依次为 (6.74~12.85) wt% NaCl.eq,(2.41~8.68) wt% NaCl.eq,(2.24~7.86) wt% NaCl.eq。岭东矿区均一温度从早到晚依次为 303.7~343.1℃,251.8~325.4℃,305.7~355.0℃; 流体盐度变化依次为 (5.11~11.70) wt% NaCl.eq,(2.74~10.11) wt% NaCl.eq,(0.53~6.74) wt% NaCl.eq。两矿区主成矿期流体均为中温、低盐度,早阶段流体为改造热液和变质热液的混合体,含一定量 CO_2,且流体 CO_2 含量和盐度从早到晚逐渐降低。石寨沟矿区包裹体均一温度逐渐降低,而岭东矿区包裹体均一温度先降后升,加之岭东矿区各阶段成矿温度均高于石寨沟矿区,表明成矿流体系统主要受岩浆热驱动,岭东矿区更靠近岩体,且在晚阶段又有脉动性的岩浆加热,段河金矿区南部存在隐伏岩体。

关 键 词:段河金矿;石英脉型;矿化阶段;流体包裹体;氢氧同位素

中图分类号:P618.51 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2008)06-1206-14

1 前 言

河南省洛宁县长水乡段河金矿已有近 10 年的开采历史,它位于崤山前寒武纪地体。崤山地体隶属华北克拉通南缘的华熊地块, 介于小秦岭和熊耳山两个著名的金矿田之间, 但崤山地体的金矿找矿工作尚无重大突破,目前仅有申家窑、半宽等小型金矿以及一些金矿(化)点。已发现的矿床和矿点分布于具有导矿或控矿性质的拆离滑脱构造系内的韧性剪切带和脆性断裂带中[1]。除金矿化外,崤山地区还有较多银、铅、锌等多金属矿化迹象,显示了一定的找矿潜力。

本文通过对段河金矿的矿相学和成矿流体的演化研究,探讨段河金矿的矿床地质特征、成矿条件、矿床成因和区域成矿规律,为进一步找矿提供理论依据。

2 区域地质

崤山地体位于华北克拉通南缘的华熊地块,北以三宝断裂与中条地块、嵩箕地块相隔,南为栾川断裂,东、西分别为卢氏—洛宁和灵宝—三门峡中新生代盆地[2-4]。崤山地体经历了长期的地质演化和嵩阳运动、崤熊运动、晋宁运动、加里东运动、印支运动、燕山运动等重要构造-热事件[5],自下而上发育的地层为中深变质的太古宇天爷庙变质岩-混合岩杂岩(原称太华群), 绿片岩相的古元古界崤山群双模式火山岩(2300~2100 Ma)和铁铜沟组山间磨拉石建造(2100~1850 Ma),微弱变质的中元古界熊耳群中基性-酸性火山岩系,以及中新元古界的管道口群、栾川群。崤山地体发育近东西向、北东向和北西向 3 组断裂, 马超营等近东西向断裂大致与区域构造线

收稿日期:2008-11-24;**改回日期**:2008-11-30

基金项目:国家"973"计划项目(2006CB403500)和国家科技支撑计划(2006BAB01A02)资助。

作者简介:赖勇,男,1963 年生,博士,副教授,从事矿床学的教学与科研工作;E-mail:yonglai@pku.edu.cn。

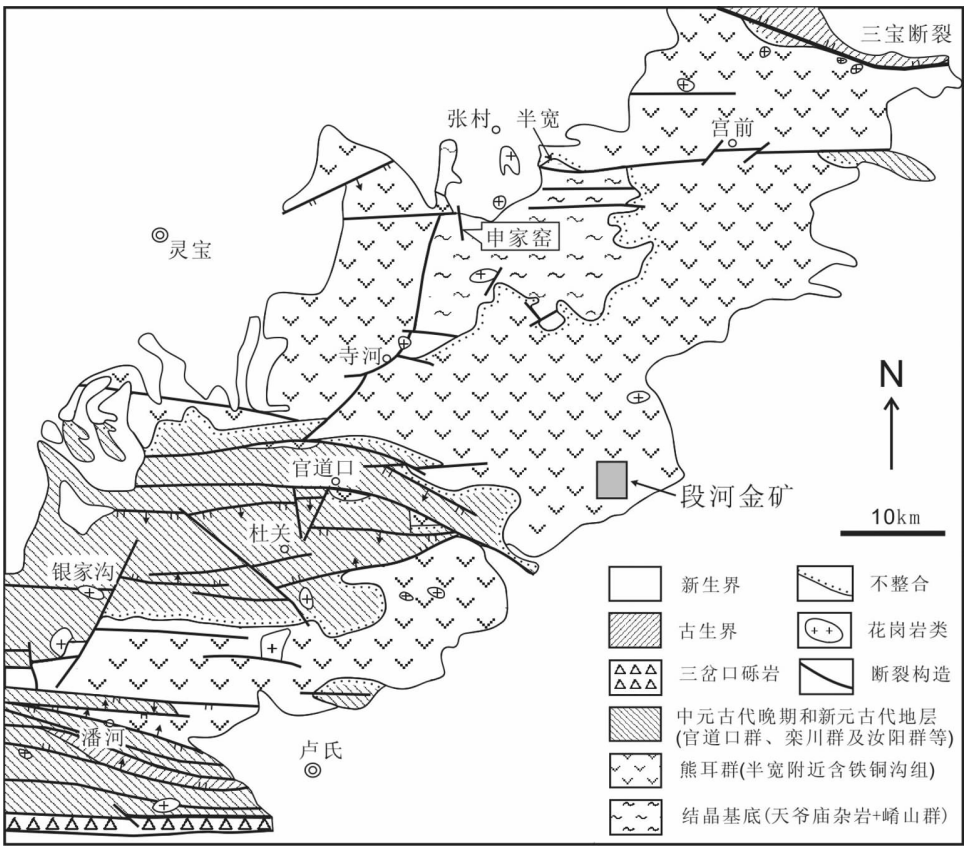


图 1　崤山地区地质图[4]

Fig.1　Geological map of the Xiaoshan terrane[4]

一致,并有长期活动的特点[3,5]。岩浆岩主要有古元古代基性—酸性双模式火山岩及其相关侵入岩，中元古代早期的高钾钙碱性中基性–酸性火山岩和相关侵入岩,以及燕山期酸性侵入体。其中,燕山期酸性岩规模较小,多为浅成的斑岩体,与金、钼等矿化关系密切。崤山地体及其邻区的主要矿产有金、钼、铅、锌、银等,前人已有很多研究[4−13]。尽管如此,崤山地区的研究较为薄弱。

3　矿区地质

3.1　矿区地层

段河金矿区主要出露熊耳群地层和新生代冲积物(图 2)。

矿区熊耳群主要包括许山组和马家河组。许山组地层产状平缓稳定,走向 160~170°,倾向东南,倾角 16~25°,主要岩性为玄武安山岩、粗安岩、粗面斑岩等,偶有正常沉积碎屑岩及火山碎屑岩夹层。火山熔岩的杏仁构造、气孔构造、碎斑构造发育。杏仁体成分为石英/玉髓/玛瑙、方解石,偶见黄铁矿,直径一般为 1~5 mm,少数达 10 cm;碎斑之斑晶主要为斜长石,斑晶直径可达 3 cm,斑晶集合体呈菊花状;偶见黑云母、角闪石、辉石和石英等构成斑晶。关于熊耳群火山岩形成的构造背景，前人存在两种对立的观点，一是认为熊耳群为一套陆缘岩浆弧环境的火山岩建造[4−5],二是认为其为大陆环境的产物[11−12]。

3.2　矿区构造

矿区可见两组断裂构造。一组发育于矿区北部和中部，规模较大，近直立的破碎带，通常走向为 170°。破碎带内菱形角砾发育,胶结物为石英、方解石和一些岩粉。破碎带宽度一般为 1~4 m，蚀变强烈,主要为硅化、褐铁矿化、泥化和铁锰矿化,无明显金矿化和多金属硫化物矿化。另一组是产状与玄武安山岩基本一致的顺层剪切裂隙,宽 5~10 cm,边界平直,为含矿石英脉充填,两侧可见 5~15 cm 宽的蚀变带,控矿的 F4、F5、F16、F17 断裂均属这组构造。

3.3　矿区岩浆岩

矿区出露的岩浆岩主要是矿区中部闪长岩和南部外围花岗岩,西北部还有少量花岗斑岩岩脉。闪长

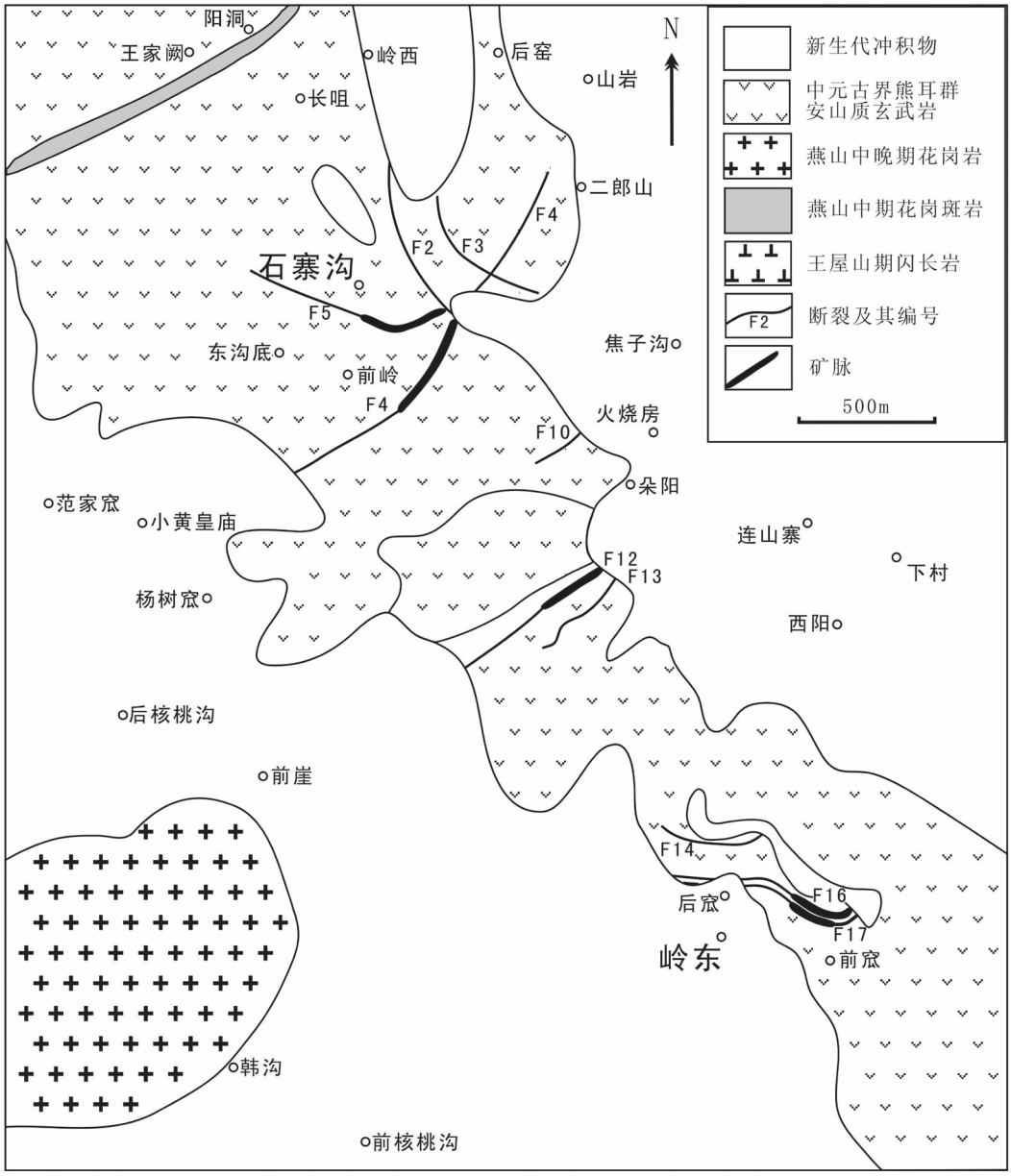


图 2 洛宁县段河金矿矿区地质图[3]

Fig.2 Map showing the geology of the Duanhe gold deposit, Luoning county[3]

岩岩体在矿区中部呈东西向展布，岩体分带不明显，内部粒度稍粗，成分均匀，偶见超基性岩包体。闪长岩南北边界均与玄武安山岩接触，接触带内可见闪长岩脉穿插玄武安山岩，或玄武安山岩呈捕虏体被闪长岩包裹，同时可见长英质岩脉穿插接触界线。在接触带的玄武安山岩一侧，绿帘石化带宽可达 70 cm。

燕山期花岗岩体沿断裂侵入新元古代及更老的地层中，岩性以斑状花岗岩为主，次为中粒黑云母花岗岩、中粗粒花岗岩。矿区西北角出露长条带状燕山期花岗斑岩岩脉。

4 矿床地质

4.1 矿体产状

段河金矿的矿体主要为石英脉型。矿化严格受断裂控制，已开采的石寨沟矿区 7 号洞、8 号洞，分别受控于断裂 F4、F5；南部的岭东矿区，受控于断裂

F16、F17，二者均产于气孔玄武安山岩与无气孔玄武安山岩的岩性分界面之间的裂隙中。矿体形态规则，呈层状展布，厚 10~30 cm，延伸长数十米至数百米，倾角较缓(<30°)，产状稳定，与围岩界线十分清楚❶。

4.2 矿石类型和矿物组合特征

矿石类型主要为含金属硫化物的石英脉型。金属矿物以黄铁矿为主，次为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿，地表及浅部矿石因受氧化作用而呈褐红色，并发育褐铁矿、铜蓝(图 3-H)等；脉石矿物主要为石英、方解石、菱铁矿等。

黄铁矿主要有 3 种产状：a. 呈细粒稀疏浸染状散布于围岩中(图 3-A)；b. 呈中-粗粒团块状，多破碎并为石英或方解石胶结 (图 3-B)；c. 呈中-细粒沿脉状分布，晶形较好，多为半自形-自形晶(图 3-C)。方铅矿(图 3-D)和闪锌矿(图 3-E)常与黄铁矿共生。黄铜矿含量少，或以细小乳滴状嵌布于闪锌矿中(图 3-F)，或呈不规则颗粒独立存在(图 3-G)。

石英主要有 3 种产状：a. 呈细粒或极细粒，烟灰色，交代围岩或填充于围岩微裂隙中 (图 4-A)；b. 呈中粒不规则状，与黄铁矿伴生；c. 梳状石英脉，石英为粗粒自形晶(图 4-B)，有些颗粒可见次生加大边(图 4-C)。方解石常呈脉状穿插石英脉或围岩，有的在应力作用下发生变形(图 4-D)。菱铁矿颗粒中可见沿解理分布的氧化铁环带(图 4-E、图 4-F)。

4.3 矿石结构构造

主要矿石结构有：自形-半自形粒状结构、他形粒状结构、充填结构、交代结构、碎裂结构、包含结构、固溶体分离结构等。主要矿石构造有：块状构造、条带状构造、脉状、网脉状构造、浸染状构造、蜂窝状构造、角砾状构造等。

4.4 围岩蚀变

矿区内主要围岩蚀变矿化类型有：硅化、黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化、闪锌矿化、碳酸盐化、褐铁矿化等。硅化贯穿于矿化早、中、晚阶段中，在矿体不同位置有不同的表现形式。碳酸盐化在矿区内普遍发育，包括菱铁矿化和方解石化，菱铁矿化广泛发生于石寨沟矿区成矿中、晚阶段，晚阶段菱铁矿产于含矿石英脉体的中心，成为封闭脉体的最后矿物；方解石化主要出现在岭东矿区成矿晚阶段，常呈脉状充填于裂隙中或交代其他矿物。

与金矿化有关的蚀变主要为硅化和黄铁矿化。

4.5 成矿阶段划分

根据矿物共生组合、蚀变叠加关系、网脉穿插关系，可将段河金矿石寨沟和岭东矿区的成矿过程从早到晚划分为 3 个阶段：

(1)石英-黄铁矿阶段：主要矿物组合为石英、黄铁矿。石英呈中细粒不规则状；黄铁矿为细-中粒自形-半自形晶。石英和黄铁矿共生，可见二者呈细脉穿插围岩。

(2)石英-多金属硫化物阶段：主要矿物组合为石英、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿，多充填裂隙形成石英-多金属硫化物脉。金属硫化物以黄铁矿为主；方铅矿、闪锌矿等与黄铁矿共生；黄铜矿形成稍晚，呈他形分布于黄铁矿等矿物的晶隙中，也可在闪锌矿中呈乳滴状出溶。石寨沟矿区中多金属硫化物种类比岭东矿区稍丰富。

(3)石英-碳酸盐阶段：主要矿物组合为石英、方解石(菱铁矿)。石英结晶颗粒粗大，常呈梳状石英脉出现。方解石、菱铁矿等碳酸盐一般在梳状石英之后形成，可见碳酸盐细脉切穿其他矿物。成矿作用的结束以方解石、菱铁矿等碳酸盐封闭矿脉为标志。其中菱铁矿大量出现在石寨沟矿区中，在岭东矿区内未见。

主成矿阶段为石英-多金属硫化物阶段和石英-黄铁矿阶段。

5 流体包裹体研究

5.1 流体包裹体类型和特征

段河金矿不同成矿阶段流体包裹体类型较简单，总体可分为气液两相包裹体和纯液体包裹体两类：

(1)气液两相包裹体。是主要的包裹体类型，可进一步分为 $H_2O(g)-H_2O(l)$类气液两相包裹体(HH 类)(图 5-B)、$CO_2(g)-H_2O(l)$类气液两相包裹体(CH 类)(图 5-C)和 $CO_2(g)-H_2O(g)-H_2O(l)$类气液两相包裹体(CHH 类)(图 5-D)。HH 类包裹体室温下气液比为 10%~50%，多呈椭圆形、月牙形、长条形、方形等，大小多为 3~10 μm，随机分布，见于石寨沟和岭东矿区各成矿阶段石英中，以及玄武安山岩的石英、方解石杏仁体中。CH 类包裹体室温下气液比一般为 30%~50%，多呈长条形、椭圆形、不规则形

❶张选才. 河南省洛宁县段河金矿普查实施方案(内部资料), 2007.

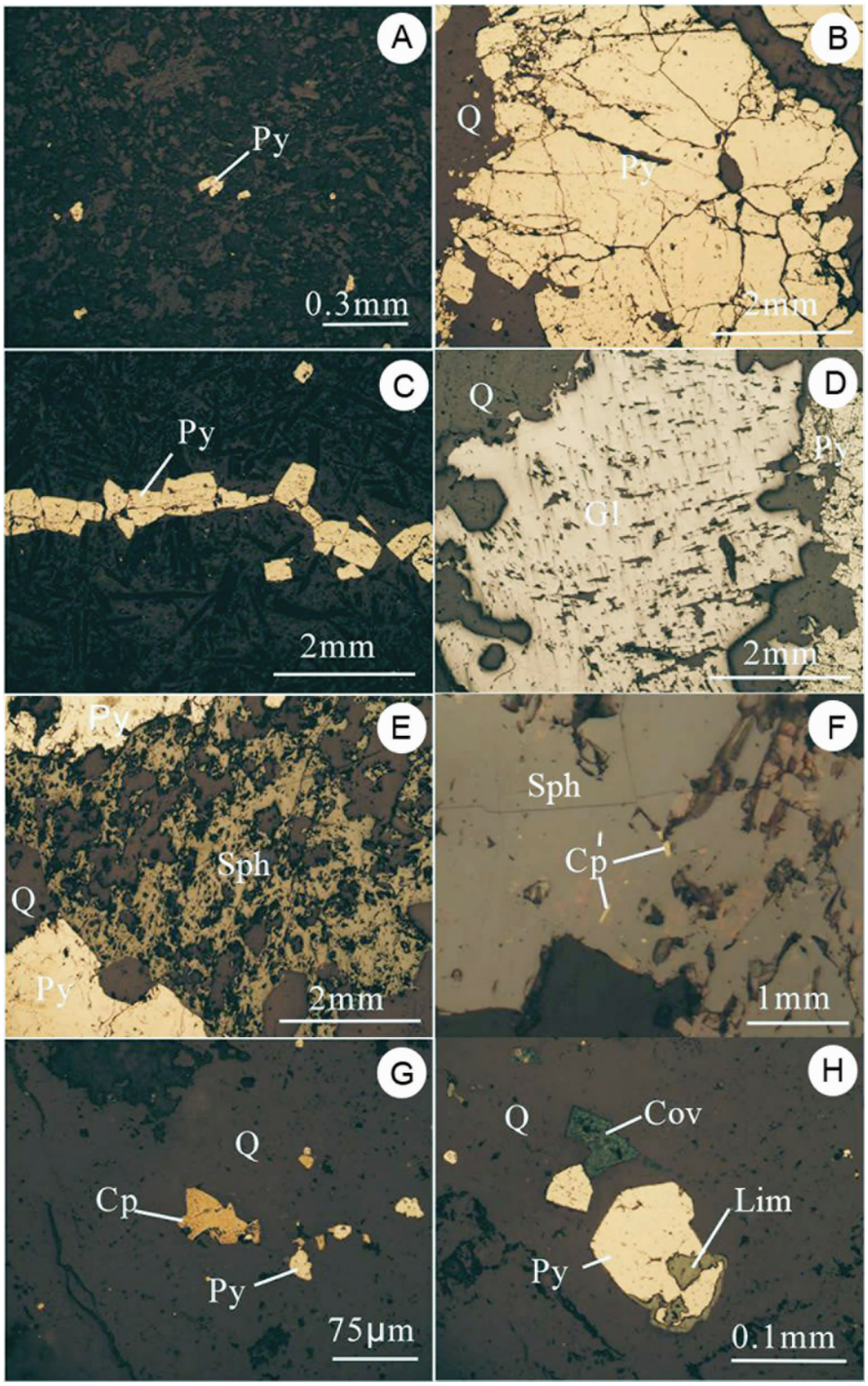


图 3 段河金矿矿石矿物和组构

A—细粒浸染状黄铁矿;B—中粗粒黄铁矿;C—中细粒黄铁矿呈脉状分布;D—方铅矿;E—闪锌矿;F—黄铜矿以乳滴状嵌布于闪锌矿中;G—黄铜矿;H—黄铁矿、黄铜矿分别被氧化成褐铁矿、铜蓝. Q—石英;Py—黄铁矿;Cp—黄铜矿;Gl—方铅矿;Sph—闪锌矿;Cov—铜篮;Lim—褐铁矿

Fig. 3 Ore mineralogy and fabrics of the Duanhe gold deposit

A−Fine−grained disseminated pyrites;B−Medium− to coarse−grained pyrites;C−Fine− to medium−grained pyrites occurring along crack;D−Galena;E−Sphalerite;F−The exsolusion drop−like chalcopyrites occurring in sphalerite;G−Chalcopyrite; H−Pyrite and chalcopyrite were oxidized into limonite and covellite respectively

Q−Quartz;Py−Pyrite;Cp−Chalcopyrite;Gl−Galena;Sph−Sphalerite; Cov−Covellite;Lim−Limonite

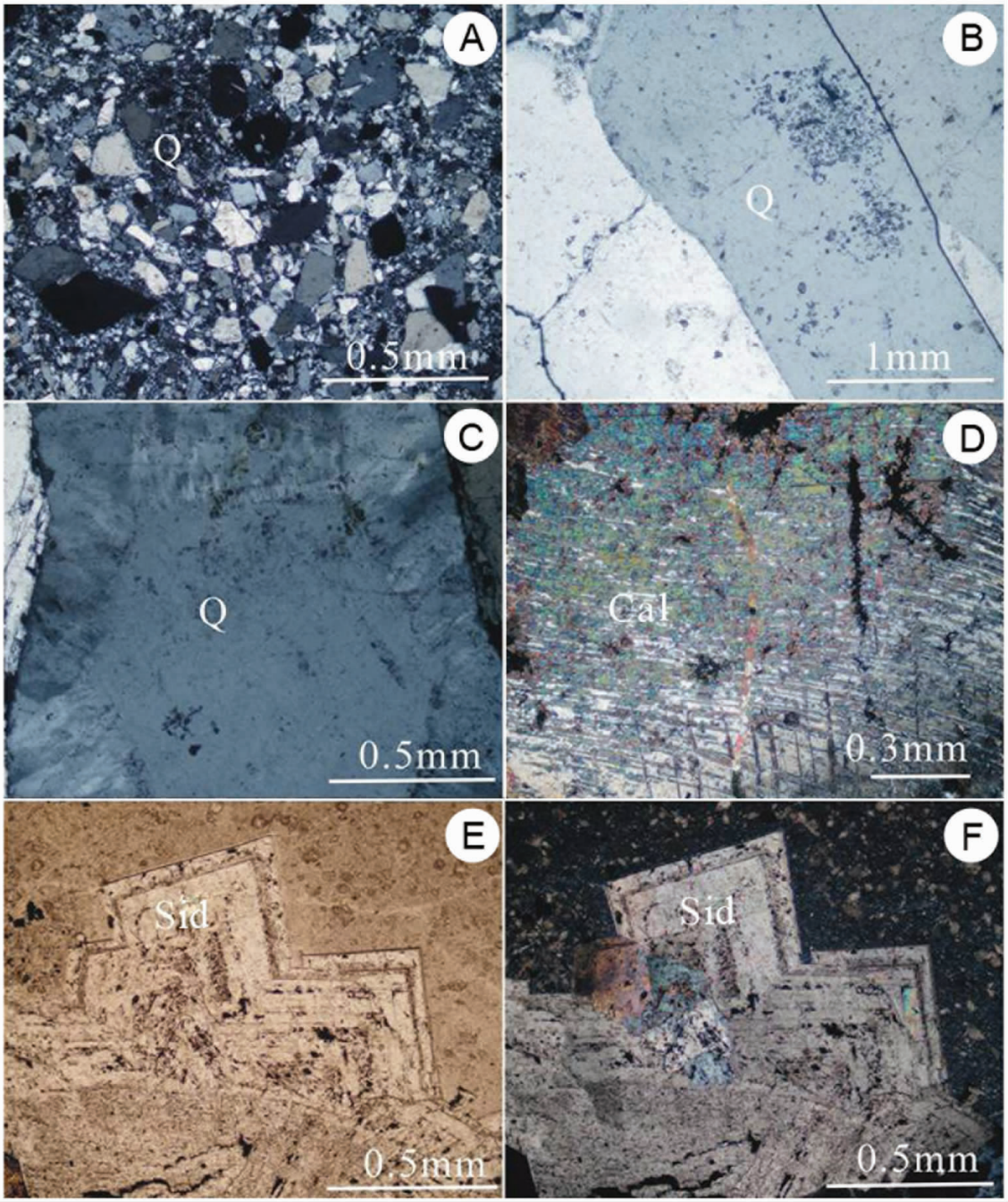


图 4　段河金矿脉石矿物和组构

A—细粒、极细粒石英较为破碎,部分被后期石英交代;B—梳状石英脉中的粗粒石英;C—梳状石英脉中粗粒石英的次生加大边;D—方解石解理发育,受构造作用发生变形;E—菱铁矿颗粒中沿解理分布的氧化铁环带(单偏光);F—同 E(正交偏光);Q—石英;Cal—方解石;Sid—菱铁矿

Fig.4　Ore fabrics and gangue mineralogy of the Duanhe gold deposit

A−Ultrafine− to fine−grained quartzs, some of them were replaced by the late−stage quartzs; B−Coarse−grained quartzs occurring in the comb−structured quartz vein; C−Secondary enlargement of coarse−grained quartz occurring in the comb−structured quartz vein; D−Calcites, which show a certain degree of deformation caused by tectonism; E−Siderites, with iron oxides annular−distributed along the cleavage (plane polarized light);

F−The same to E (perpendicular polarized light); Q−Quartz; Cal−Calcite; Sid−Siderite.

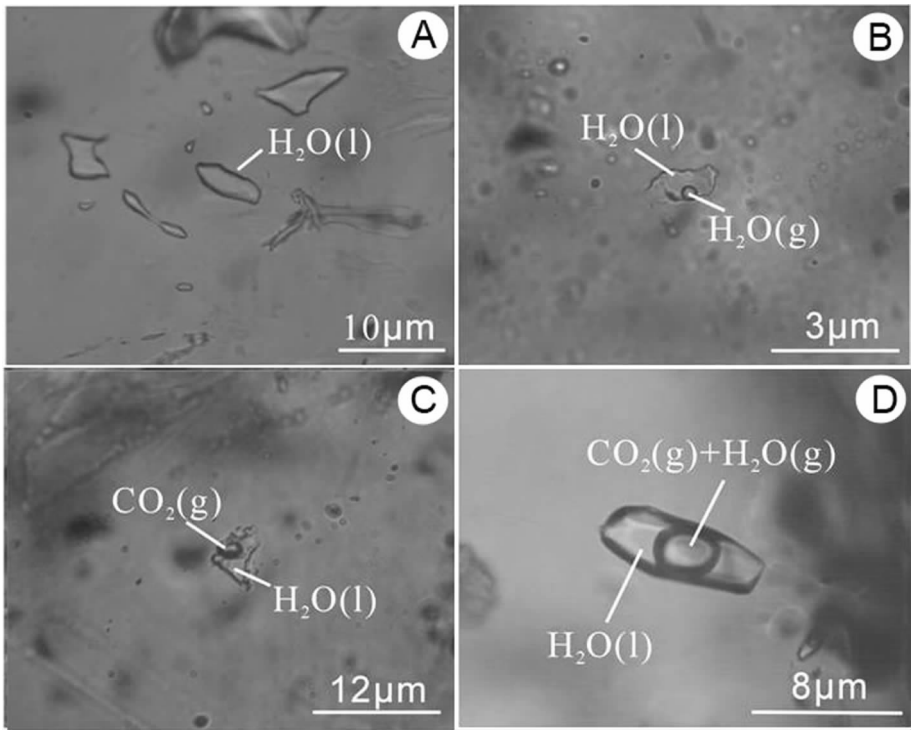


图 5 段河金矿流体包裹体显微照片

A—岭东矿区成矿晚阶段石英中的 L 类包裹体;B—玄武安山岩石英杏仁体中的 HH 类包裹体;C—岭东矿区成矿中阶段石英中的 CH 类包裹体;D—岭东矿区成矿晚阶段石英中的 CHH 类包裹体

Fig.5 Microphotographs of fluid inclusions of the Duanhe gold deposit

A-L-type fluid inclusions in the late-stage quartz of the Lingdong mining area; B-HH-type fluid inclusion in the quartz amygdaloidal of the basaltic andesite; C-CH-type fluid inclusion in the middle-stage quartz of the Lingdong mining area; D-CHH-type fluid inclusion in the late-stage quartz of the Lingdong mining area

等,大小多为 5~9 μm,随机分布,见于岭东矿区早、中阶段石英中。CHH 类包裹体室温下气液比为 10%~80%,形态丰富,有椭圆形、月牙形、长条形、负晶形、三角形、不规则形等,大小不一,多在 2~26 μm,分散或成群出现,见于石寨沟、岭东矿区各阶段石英中。

(2)纯液体包裹体(L 类)。该类包裹体多呈不规则形(图 5-A),2~8 μm,成群排列或分散出现。见于岭东矿体和石寨沟矿体各阶段石英中, 玄武安山岩的石英、方解石杏仁体中也含该类包裹体。

5.2 包裹体成分激光拉曼显微探针分析

运用北京大学地球科学与空间学院造山带与地壳演化实验室 RM-1000 型拉曼光谱仪, 分别对石寨沟、岭东矿区各成矿阶段和玄武安山岩杏仁体中的包裹体,进行拉曼显微探针分析。仪器分辨率为±2 cm^{-1},514 nm 激光发射功率 20 mW,样品接收功率 5 mW。

激光拉曼显微探针分析结果显示,石寨沟矿区、岭东矿区和玄武安山岩各阶段 HH 类、CHH 类和 L 类包裹体的液相均显示很强的水峰(3433 cm^{-1})(图 6-A), 表明液相成分为 H_2O; 在气相为纯 CO_2 的 CH 类包裹体中,液相显示水峰(3468 cm^{-1})和弱的 CO_2 峰(1229、1386 cm^{-1}),表明有少量 CO_2 溶解在水溶液中(图 6-B),该类包裹体存在于岭东矿区的早、中阶段石英中。

根据激光拉曼显微探针分析还可知, 石寨沟矿区包裹体的气相成分有两种类型, 一种是 CO_2 和 H_2O 的混合,存在于早、中阶段石英中;另一种是纯 H_2O,存在于早、中、晚各阶段石英中。岭东矿区包裹体的气相成分有 3 种类型,一种是纯 CO_2,几乎不含 H_2O(图 6-C),存在于早、中阶段石英中;一种是 CO_2 和 H_2O 的混合(图 6-D),存在于早、中、晚各阶段石英中;另一种是纯 H_2O,存在于早、中、晚各阶

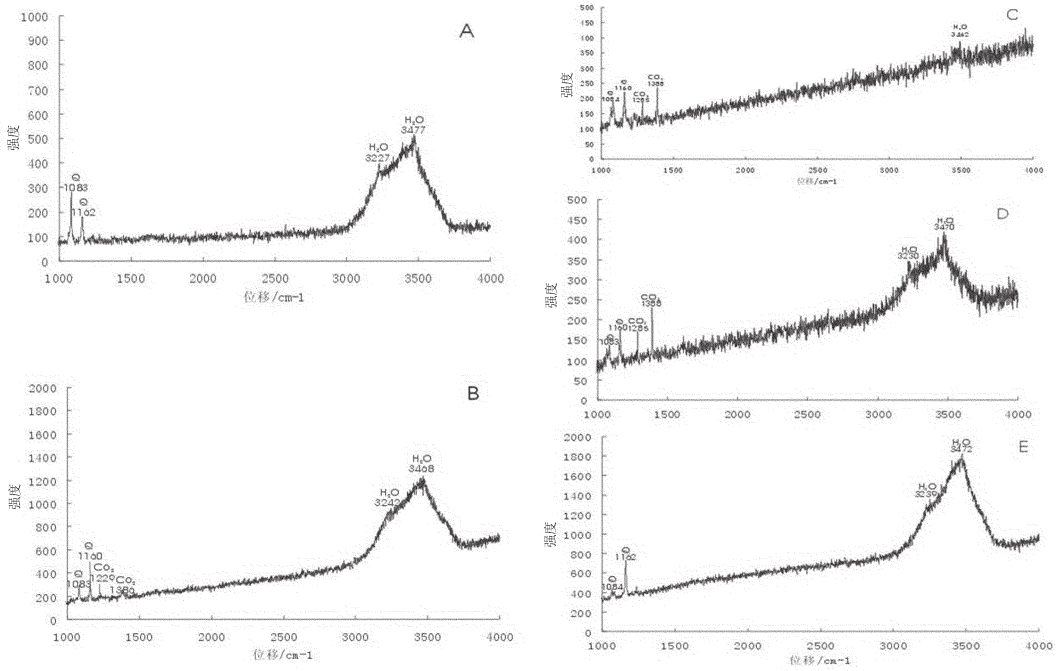


图 6　段河金矿流体包裹体激光拉曼图谱

A—岭东矿区晚阶段石英中 L 类包裹体液相中的 H_2O;B—岭东矿区早阶段石英中 CH 类包裹体液相中的 H_2O 和 CO_2;C—岭东矿区早阶段石英中 CH 类包裹体气相中的 CO_2;D—岭东矿区中阶段石英中 CHH 类包裹体气相中的 H_2O 和 CO_2;E—玄武安山岩石英杏仁体中 HH 类包裹体中的 H_2O

Fig.6　Laser Raman spectra of fluid inclusions of the Duanhe gold deposit

A–Spectrum for liquid phase of the L–type fluid inclusion in the late–stage quartz of Lingdong mining area shows high peaks of H_2O; B–Spectrum for liquid phase of the CH–type fluid inclusion in the early–stage quartz of Lingdong mining area shows peaks of H_2O and CO_2;C–Spectrum for vapor phase of the CH–type fluid inclusion in the early–stage quartz of Lingdong mining area shows peaks of CO_2;D–Spectrum for vapor phase of the CHH–type fluid inclusion in the middle–stage quartz of Lingdong mining area shows peaks of H_2O and CO_2;E–Spectrum for vapor phase of the HH–type fluid inclusion in the quartz amygdaloid of the basaltic andesite shows high peaks of H_2O

段石英中。玄武安山岩杏仁体中的包裹体气相只有 H_2O(图 6–E)。

段河金矿石寨沟和岭东矿区的成矿流体中 CO_2 含量从早到晚逐渐降低。玄武安山岩杏仁体中的包裹体均为纯水气液包裹体,不含 CO_2。

5.3　流体包裹体显微测温分析

运用北京大学地球科学与空间学院流体包裹体实验室德国 Letiz1350 显微热台和法国的 Chaixmeca MTM85 型显微冷热台,分别对石寨沟、岭东矿区各成矿阶段石英以及玄武安山岩的石英、方解石杏仁体中的包裹体,进行均一温度和冰点温度的测试,其测试精度均为±0.1℃。升/降温速率控制在 10℃/min 以内,相变点附近控制在 1℃/min 以内。

5.3.1 石寨沟矿区流体包裹体显微测温

从测温结果可知(图 7、表 1),石寨沟矿区成矿早阶段石英中的流体包裹体均一温度介于 240.9~315.9℃;中阶段介于 188.7~304.5℃;晚阶段介于 137.3~259.3℃(图 8)。包裹体均一温度从早到晚呈降低趋势。由于金和多金属硫化物主要形成于早、中阶段,而早、中阶段包裹体均一温度介于 188.7~315.9℃,因此石寨沟矿区主成矿期为中温环境。

流体盐度通过包裹体冰点数据计算得到,所用公式为 Hall et al [14]提出的 H_2O–NaCl 体系盐度–冰点公式:

$$W_{NaCl} = 0.00 + 1.78T_m - 0.0442T_m^2 + 0.000557T_m^3$$

石寨沟矿区早、中、晚阶段包裹体的实测冰点温度分别为:−4.2~−9.0℃、−1.4~−5.6℃、−1.3~−5.0℃,计算其相应流体盐度为:早阶段(6.74~12.85) wt% NaCl.eq;中阶段(2.41~8.68) wt% NaCl.eq;晚阶段(2.24~7.86) wt% NaCl.eq(图 9)。从早到晚流体盐度

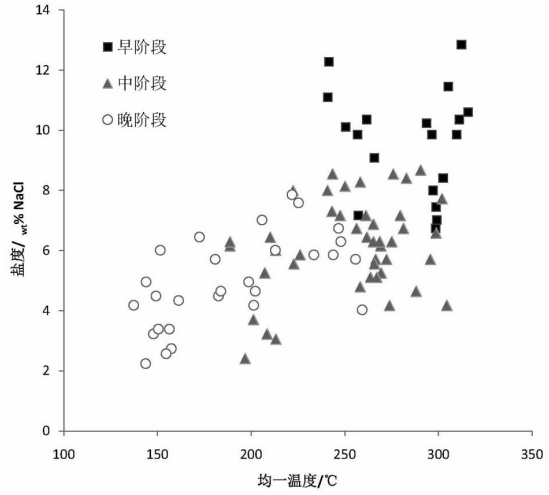


图 7 石寨沟矿区流体包裹体均一温度与盐度关系图

Fig.7 Scatter diagram of homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions of the Shizhaigou mining area, Duanhe gold deposit

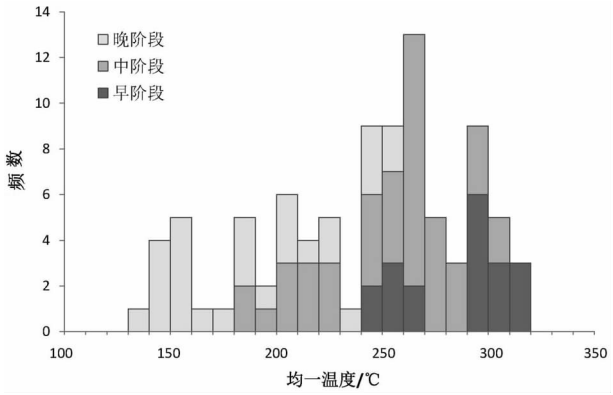


图 8 石寨沟矿区流体包裹体均一温度直方图

Fig.8 Histogram for homogenization temperatures of fluid inclusions of the Shizhaigou mining area, Duanhe gold deposit

表 1 石寨沟矿区流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microthemometric data of fluid inclusions of the Shizhaigou mining area, Duanhe gold deposit

样号	寄主矿物	数量	均一温度(°C)	冰点(°C)	盐度(wt% NaCl)	流体密度(V/cm^3)	阶段
14-12	石英	19	240.9～315.9	-4.2～-9.0	6.74-12.85	0.79～0.91	早
14-2A, 14-10, 14-11	石英	44	188.7～304.5	-1.4～-5.6	2.41～8.68	0.77～0.91	中
14-2B, 14-3	石英	28	137.3～259.3	-1.3～-5.0	2.24～7.86	0.72～0.94	晚

呈下降趋势,总体属于低盐度流体。

根据各阶段的均一温度和盐度数据,利用卢焕章等[15]提出的 NaCl-H_2O 体系的相图,估算早、中、晚阶段成矿流体密度范围分别为 0.79~0.91 g/cm^3、0.77~0.91 g/cm^3、0.72~0.94 g/cm^3,没有显著变化。

5.3.2 岭东矿区流体包裹体显微测温

岭东矿区各阶段包裹体的均一温度和盐度分布情况见图 10、表 2。

从测温结果可知,岭东矿区成矿早阶段均一温度介于 303.7~343.1℃, 中阶段介于 251.8~325.4℃, 晚阶段介于 305.7~355.0℃(图 11)。包裹体均一温度从早到晚先降低后升高。由于金和多金属硫化物主要形成于早、中阶段,而早、中阶段包裹体均一温度介于 251.8~343.1℃,因此岭东矿区主成矿期为中温环境。

流体盐度通过包裹体冰点数据计算得到,所用公式为 Hall et al 提出的 H_2O-NaCl 体系盐度-冰点公式[14]:

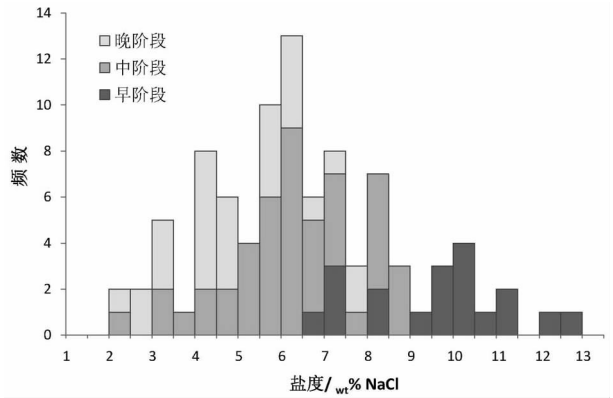


图 9 石寨沟矿区流体盐度直方图

Fig.9 Histogram for salinities of fluid inclusions of the Shizhaigou mining area, Duangou gold deposit

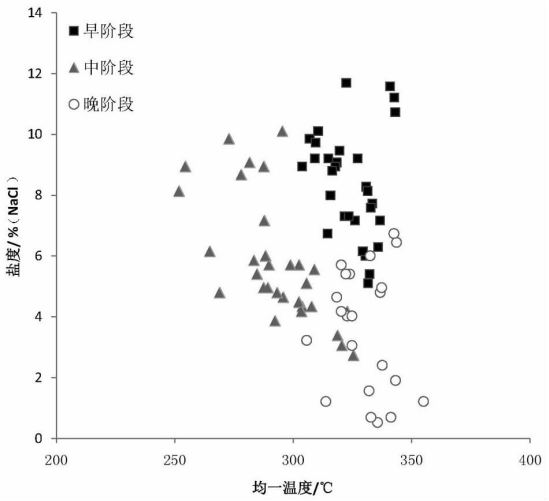


图 10 岭东矿区流体包裹体均一温度与盐度关系图

Fig.10 Scatter diagram of homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions of the Lingdong mining area, Duanhe gold deposit

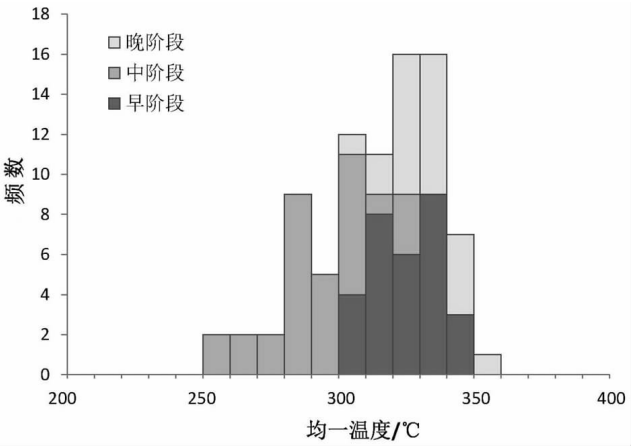


图 11 岭东矿区流体包裹体均一温度直方图

Fig.11 Histogram for homogenization temperatures of fluid inclusions of the Lingdong mining area, Duanhe gold deposit

表 2 岭东矿区流体包裹体显微测温结果

Table 2 Microthemometric data of fluid inclusions of the Lingdong mining area, Duanhe gold deposit

样号	寄主矿物	数量	均一温度 (℃)	冰点(℃)	盐度($_{wt}$% NaCl)	流体密度(V/cm^3)	阶段
16-2	石英	30	303.7～343.1	-3.1～-8.0	5.11～11.70	0.72～0.89	早
16-5, 16-2A	石英	31	251.8～325.4	-1.6～-6.7	2.74～10.11	0.78～0.95	中
16-4A	石英	22	305.7～355.0	-0.3～-4.2	0.53～6.74	0.67～0.80	晚

$$W_{NaCl} = 0.00 + 1.78T_m - 0.0442T_m^2 + 0.000557T_m^3$$

岭东矿区早、中、晚阶段包裹体的实测冰点温度分别为:-3.1~-8.0℃、-1.6~-6.7℃、-0.3~-4.2℃,计算其相应流体盐度为:早阶段 (5.11~11.70) wt% NaCl.eq;中阶段(2.74~10.11) wt% NaCl.eq;晚阶段(0.53~6.74) wt% NaCl.eq(图 12)。从早到晚流体盐度呈下降趋势,总体属于低盐度流体。

根据各阶段的均一温度和盐度数据,利用卢焕章等[15]提出的 NaCl-H_2O 体系的相图,估算早、中、晚阶段成矿流体密度范围分别为 0.72~0.89 g/cm^3、0.78~0.95 g/cm^3、0.67~0.80 g/cm^3,流体密度与均一温度呈负相关关系。

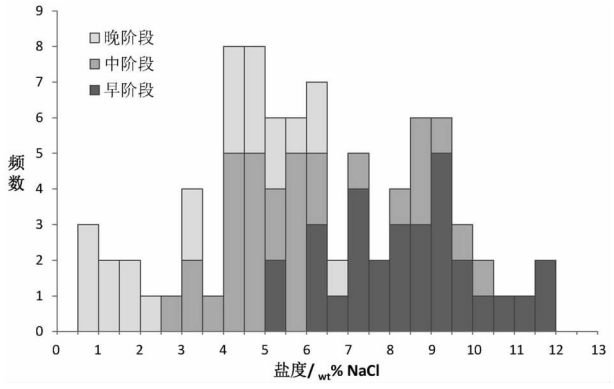


图 12 岭东矿区流体盐度直方图

Fig.12 Histogram for salinities of fluid inclusions of the Lingdong mining area, Duanhe gold deposit

5.3.3 杏仁体中的流体包裹体显微测温

在近矿围岩的杏仁中,常可见到一些由微裂隙贯通的玄武安山岩气孔充填石英中有弱的黄铁矿化,和成矿有关的黄铁矿充填杏仁中石英和方解石的裂隙,表明成矿作用是在安山岩中的杏仁充填之后发生的。因此,金的矿化作用应该晚于安山岩及岩浆期后热液活动。为了解玄武安山岩的杏仁充填时的流体条件,对杏仁中的石英、方解石进行了流体包裹体测试。结果表明,石英中包裹体的均一温度介于

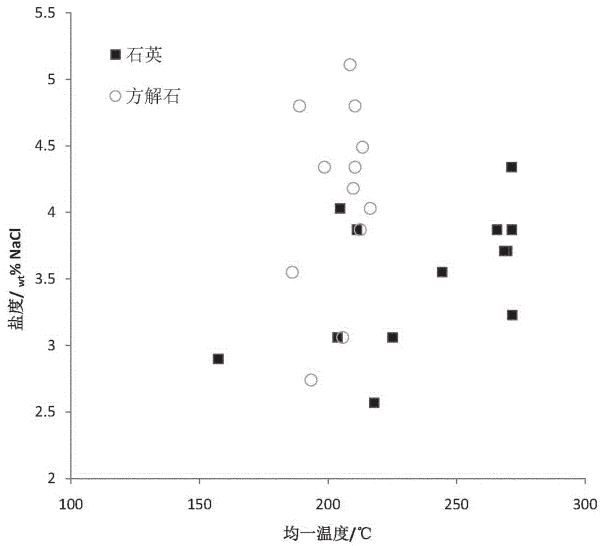


图 13 玄武安山岩之杏仁体中的包裹体均一温度与盐度关系图

Fig.13 Scatter diagram of homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions in the amygdaloids of the basaltic andesite

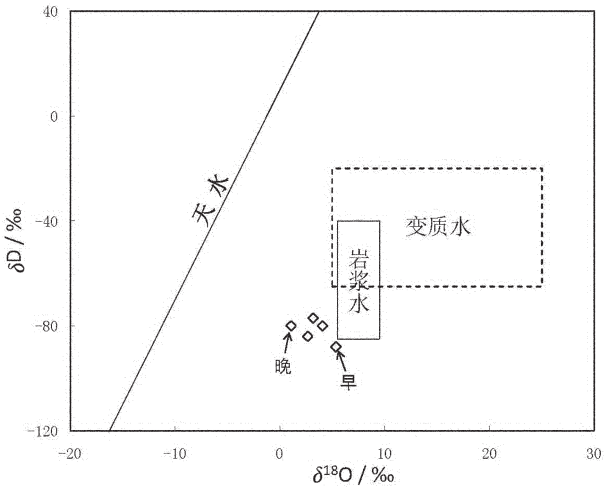


图 14 段河金矿石寨沟矿区成矿流体氢氧同位素特征

Fig.14 $\delta^{18}O-\delta D$ diagram for ore-fluids of the Shizhaigou mining area, Duanhe gold deposit

157.3~271.7℃,盐度介于(2.57~4.34) wt% NaCl.eq;方解石中包裹体的均一温度介于 186.1~216.4℃,盐度为(2.74~5.11) wt% NaCl.eq(图 13)。

5.3.4 小结

流体包裹体研究表明:石寨沟和岭东矿区主成矿期流体均为中温、低盐度,早阶段流体中均含一定量 CO_2,由早到晚,CO_2 含量和流体盐度逐渐降低,石寨沟矿区包裹体均一温度逐渐降低,而岭东矿区包裹体均一温度先降后升。岭东矿区各阶段包裹体均一温度均高于石寨沟矿区。玄武安山岩杏仁充填物中的石英和方解石形成于无 CO_2、低温、低盐度的流体,其包裹体均一温度和盐度均低于石寨沟和岭东矿区。

5.4 氢、氧同位素特征

分别对石寨沟矿区各成矿阶段石英的氧和其流体包裹体中的氢同位素组成进行了测定,并采用 Clayton 推荐的石英-水的氧同位素分馏方程[16]:

$$1000\ln\alpha_{石英-水}=3.38\times10^{6}T^{-2}-3.4\quad(200-500℃)$$

计算出石英形成温度下平衡的水的 $\delta^{18}O$ 值(表 3)。所用温度为包裹体均一温度平均值。

结果表明,石寨沟成矿流体的 δD 为-77‰~-88‰,$\delta^{18}O$ 为 1.07‰~5.36‰。从图 14 中可以看出,流体 $\delta^{18}O$ 值从早到晚呈降低趋势,流体氢氧同位素特征逐渐向现代雨水线靠近,说明成矿过程中有

表 3 段河金矿石寨沟矿区成矿流体氢氧同位素组成(SMOW)

Table 3 Oxygen and hydrogen isotope composition of ore-fluids of the Shizhaigou mining area, Duanhe gold deposit (SMOW)

样号	测试对象	$\delta^{18}O_{矿物}$/‰	$\delta^{18}O_w$/‰	δD_w/‰	温度/℃
14-12	石英	12.6	5.36	-88	290
14-8	石英	10.3	2.67	-84	280
14-7	石英	13.5	4.08	-80	240
12-2	石英	13.1	3.17	-77	230
14-2B	石英	13.4	1.07	-80	190

注:本文样品由国土资源部同位素地质重点实验室测试,质谱型号为 MAT-253。

大气降水的逐渐混入。

6 讨 论

6.1 成矿热源

矿体产在火山岩的层间断裂带中，近矿围岩附近的杏仁发生了弱黄铁矿化，说明成矿作用是在火山活动完全结束,玄武岩中气孔被充填之后发生的,故区内大面积发育的玄武岩不可能为段河金矿提供成矿热源。由于围绕热源势必会形成一定的温度梯度，根据岭东矿区成矿流体各阶段的温度均高于石寨沟矿区，且岭东矿区成矿晚阶段受到明显的热扰动致使流体温度升高，而石寨沟矿区未受明显热扰动，可以推测成矿热源可能在矿区南部距岭东较近处,可能为隐伏岩体,具体位置需借助地球物理手段来圈定。

6.2 成矿机制

矿区南部东西向长 200 km 的马超营断裂是中生代陆内俯冲作用的缝合带[17],与矿区内燕山期花岗岩的生成关系密切。该断裂两侧均有华熊地块结晶基底、熊耳群、官道口群的发育,俯冲方向由南向北。板片向北俯冲造成区域南北向挤压应力场,并形成了一系列的压扭性断裂。持续的俯冲作用,导致某些岩浆熔体的形成,并向浅部侵位。不同尺度的裂隙系统为流体的循环提供了通道。上涌的岩浆熔体使得循环水体系得以加热。被加热的循环水大大提高了对矿质的溶解能力，在俯冲带北侧的结晶基底以及熊耳群、官道口群中萃取了主要成矿元素,而成为含矿热液。熊耳群火山岩中不同旋回的岩性面容易形成一些张剪性的裂隙,成为本区很好的容矿构造。成矿流体进入这些张剪性裂隙后，因压力降低导致矿质大量沉淀,形成金和多金属硫化物矿化。

石寨沟、岭东矿区主成矿期流体均为中温、低盐度。两矿区早阶段流体中均含一定量 CO_2,包裹体均一温度分别为 240.9~315.9℃和 303.7~343.1℃，盐度分别为(6.74~12.85) wt%NaCl.eq 和(5.11~11.70) wt% NaCl.eq,根据陈衍景等[18]对不同类型热液成矿系统的流体包裹体特征研究，推测成矿流体为改造热液和变质热液的混合体。中阶段流体中 CO_2 含量减少,包裹体均一温度分别为 188.7~304.5℃和 251.8~325.4℃，盐度分别为 (2.41~8.68) wt% NaCl.eq 和 (2.74~10.11) wt% NaCl.eq,温度和盐度均有所降低,配合氢氧同位素研究,认为该阶段有大气降水混入。晚阶段流体中 CO_2 含量很少，石寨沟矿区的包裹体均一温度为 137.3~259.3℃,盐度为(2.24~7.86) wt% NaCl.eq,均一温度和盐度都进一步降低;而岭东矿区的包裹体均一温度达 305.7~355.0℃，盐度为 (0.53~6.74) wt% NaCl.eq,盐度降低而温度升高,升温可能是由于岩浆侵入的脉动性加热成矿溶液所致，推测两矿区晚阶段流体中大气降水混入比例更高。

6.3 找矿方向

按段河金矿的模式，利用地球物理手段在矿区南部距岭东较近处圈定提供成矿热源的隐伏岩体,区域内以该隐伏岩体为中心，以玄武安山岩的不同岩性岩层之间的破碎带为目标，是石英脉型金矿产出的有利地带,可以沿该思路找矿。

7 结 论

(1)段河金矿矿石中的金属矿物主要有黄铁矿,次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿;脉石矿物主要为石英,次为碳酸盐;围岩蚀变矿化类型主要为硅化、黄铁矿化、碳酸盐化等,其中前两种蚀变矿化与金矿化关系密切。其成矿过程从早到晚可分为 3 个阶段，分别形成以石英–黄铁矿、石英–多金属硫化物和石英–碳酸盐为代表的矿物组合;中阶段金矿化最强,其次为早阶段。

(2)段河金矿发育气液两相包裹体和纯液体包裹体(L 类)两类包裹体,前者可细分为 $H_2O(g)-H_2O(l)$类气液两相包裹体(HH 类)、$CO_2(g)-H_2O(l)$类气液两相包裹体(CH 类)和 $CO_2(g)-H_2O(g)-H_2O(l)$类气液两相包裹体(CHH 类)。石寨沟、岭东矿区主成矿期流体为中温、低盐度,早阶段流体为改造热液和变质热液的混合体,含一定量 CO_2,由早到晚,CO_2 含量和流体盐度逐渐降低。

(3)石寨沟矿区包裹体均一温度逐渐降低,氢氧同位素显示中至晚阶段成矿流体以大气降水为主;而岭东矿区包裹体均一温度先降后升。以上指示成矿流体系统主要受岩浆热能驱动，岭东矿区距离岩浆热源较近,并在晚阶段再次受到脉动性加热。

致谢:谨以此文祝贺中国著名矿床学家胡受奚教授从事地质事业 60 周年和 80 华诞。

参考文献(References):

[1] 尹维青, 李建旭. 河南崤山地区伸展滑脱作用及其与金矿的关系[J]. 矿产与地质, 2007, 21(2):1–5.
Yin Weiqing, Li Jianxu. Relationship between extension–detachment

structure and metallogeny in the district of Xiaoshan, Henan Province[J]. Mineral Resources and Geology, 2007, 21(2):136-140 (in Chinese with English abstract).

[2] 李诺, 陈衍景, 张辉, 等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前缘, 2007, 14(5):186-198.
Li Nuo, Chen Yanjing, Zhang Hui, et al. Molybdenum deposits in East Qinling [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (5):186-198(in Chinese with English abstract).

[3] 河南省地质矿产局.河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989:772.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province. Regional Geology of Henan Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1989:772(in Chinese).

[4] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社, 1992:1-234.
Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan [M]. Beijing:Seismological Press, 1992:1 -234 (in Chinese with English abstract).

[5] 胡受奚(主编). 华北与华南古板块拼合带地质与成矿[M]. 南京:南京大学出版社, 1988:1-558.
Hu Shouxi (ed). Geology and Metallogeny of the Collision Belt Between the North and the South China Plates[M]. Nanjing:Nanjing University Press, 1988:1-558 (in Chinese).

[6] 李宗彦, 杨鑫生. 豫西金矿类型划分[J]. 矿产与地质, 2004, 18(6):559-562.
Li Zongyan, Yang Xinsheng. Gold deposit classification in western Henan[J]. Mineral Resources and Geology, 2004, 18(6):559-562(in Chinese with English abstract).

[7] 范宏瑞, 谢奕汉, 郑学正, 等. 河南祁雨沟热液角砾岩体型金矿床成矿流体研究[J]. 岩石学报, 2000, 16(4):559-563.
Fan Hongrui, Xie Yihan, Zheng Xuezheng, et al. Ore-forming fluids in hydrothermal breccia-related gold mineralization in Qiyugou, Henan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4):559-563(in Chinese with English abstract).

[8] 刘家齐, 汪雄武, 李桃叶. 论小秦岭金矿床流体包裹体特征-以杨寨峪、金铜岔金矿床为例[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊):994-997.
Liu Jiaqi, Wang Xiongwu, Li Taoye. On the characteristies of fluid inclusions in the Xiaoqinling gold deposits [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(supp.):994-997 (in Chinese).

[9] 祁进平, 陈衍景, 李强之. 小秦岭造山型金矿的流体成矿作用分析[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊):1009-1013.
Qi Jinping, Chen Yanjing, Li Qiangzhi. Synthesis of hydrothermal metalogenesis in Xiaoqinling orogenic gold field [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(supp.):1009-1013(in Chinese).

[10] 王长明, 邓军, 张寿庭. 河南熊耳山地区花山花岗岩与金矿化的关系[J]. 现代地质, 2006, 20(2):1-7.
Wang Changming, Deng Jun, Zhang Shouting. Relationship between Huashan granite and gold mineralization in Xiongershan area, Henan [J]. Geoscience, 2006, 20 (2):1-7 (in Chinese with English abstract).

[11] 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境: 事实与争议 [J]. 高校地质学报, 2007, 13(2):191-206.
Zhao Taiping, Xu Yonghang, Zhai Mingguo. Petrogenesis and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xiong'er Group in the southern part of the North China Craton:a Review [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13 (2):191-206 (in Chinese with English abstract).

[12] 任富根, 李维明. 熊耳山-崤山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型[M]. 北京, 地质出版社, 1995:29-101.
Ren Fugen, Li Weiming. Ore-forming Geological Conditions and Models for Ore Searching and Ore Evaluation of Gold Deposit in Xiong'ershan-Xiaoshan Area [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1995:29-101(in Chinese with English abstract).

[13] 郭东升, 陈衍景, 祁进平. 河南祁雨沟金矿同位素地球化学和矿床成因分析[J]. 地质论评, 2007, 53(2):217-228.
Guo Dongsheng, Chen Yanjing, Qi Jinping. Isotope geochemistry and ore genesis of the Qiyugou gold deposit, Henan:a synthesis [J]. Geological Review, 2007, 53 (2):217-228 (in Chinese with English abstract).

[14] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H_2O solutions. [J]. Econ Geol., 1988, 83:197-202.

[15] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培,等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社:2004:487.
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Fluid Inclusion [M]. Beijing:Science Press, 2004:487(in Chinese).

[16] Clayton R N, O'Neil J R,. Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. Journal of Geophysical Research, 1972, 77:3057-3067.

[17] 张元厚, 张世红, 韩以贵, 等. 华熊地块马超营断裂走滑特征及演化[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2006, 36(2):169-176, 193.
Zhang Yuanhou, Zhang Shihong, Han Yigui, et al. Strik-Slip features of the Machaoying Fault Zone and its evolution in the Huaxiong Terrane, Southern North China Craton [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(2):169-176, 193 (in Chinese with English abstract).

[18] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2085-2108.
Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (9):2085-2108 (in Chinese with English abstract).

Study of fluid inclusions and ore genesis of the Duanhe gold deposit in Luoning County, Henan Province

LAI Yong, ZHANG Yu, GAO Lan, LI Wen-bo

(*Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing* 100871, *China*)

Abstract: The Duanhe gold deposit is a quartz-vein type gold deposit, located in Luoning County, Henan Province. The gold deposit mainly includes Shizhaigou and Lingdong mining areas that comprise of three to four gold-bearing quartz veins, respectively. The ore-forming process includes three stages, i.e. the early, middle and late stages, characterized by mineral assemblages of quartz-pyrite, quartz-polymetallic sulfides and quartz-carbonate, respectively. The most intensive gold mineralization is developed in the middle stage, secondarily in the early stage. Fluid inclusions in quartz of three stages are mainly H_2O-rich. Some inclusions contain a little of CO_2 in gas and liquid phases. Pure H_2O inclusions can be also observed. Homogeneous temperatures of the early-, middle- and late-stage fluid inclusions are 240.9~315.9 °C, 188.7~304.5 °C, and 137.3~259.3°C respectively in the Shizhaigou; while in the Lingdong mining area are 303.7~343.1° C, 251.8~325.4° C, and 305.7~355.0℃, respectively. In the Shizhaigou the salinities are (6.74~12.85)wt% NaCl.eq, (2.41~8.68) wt% NaCl.eq and (2.24~7.86) wt% NaCl.eq, respectively; and in the Lingdong mining area are (5.11~11.70) wt% NaCl.eq, (2.74~10.11) wt% NaCl.eq and (0.53~6.74) wt% NaCl.eq, respectively. The ore-fluids of these two mining areas were characterized by moderate-temperature and low-salinity at the main metallogenic stage. The early-stage ore-fluids were mixed hydrothermal solutions of reworking and metamorphic fluids, containing a small amount of CO_2. From early to late stage, the CO_2 content and salinities of fluids gradually decreased. From early to late, homogeneous temperatures of fluid inclusions in Shizhaigou mining area decrease gradually, whereas increase after a firstly decrease in Lingdong mining area. This, together with that the temperatures of each stage of the Lingdong area are generally higher those of the Shizhaigou area, suggests that the ore-forming fluid-system were driven by magmatic heat, and that the Lingdong area is more close to and was reheated by the blinded pulsing magmatic intrusion which was possibly seated beneath the south of the Duanhe deposit.

Key words: Duanhe gold deposit; quartz-vein type; mineralization stages; fluid inclusion; H-O isotope systematic

---

About the first author: LAI Yong, male, born in 1963, doctor, associate professor of ore geology; E-mail: yonglai@pku.edu.cn.