卷(Volume)28,期(Number)1,总(Total)111
页(Pages)31 - 38,2008,3,(Mar,2008)

矿 物 岩 石
J MINERAL PETROL

大兴安岭北部砂宝斯金矿床成矿流体特征及矿床成因

武 广[1], 李忠权[2], 糜 梅[1,3], 刘 军[1,3], 朱明田[1,3]

1. 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室,广东 广州 510640;
2. 成都理工大学"油气藏地质及开发工程"国家重点实验室,四川 成都 610059;
3. 中国科学院研究生院,北京 100039

【摘 要】 通过对不同阶段流体包裹体岩相学、显微测温学和包裹体激光拉曼光谱等的分析,研究其成矿流体性质和演化,并探讨矿床成因类型,结果表明:流体包裹体主要为气液两相包裹体,另有少量含 CO_2 三相和纯 CO_2 包裹体。包裹体气相成分主要为 N_2,CH_4,CO_2 和 H_2O。主成矿期流体包裹体的均一温度介于 156 ℃～365 ℃(平均 267 ℃),流体盐度介于 5.4%～6.3%(平均 5.9%),流体密度为 0.82 g/cm^3～0.87 g/cm^3(平均 0.86 g/cm^3);成矿晚期辉锑矿阶段流体包裹体的均一温度介于 164 ℃～224 ℃(平均 182 ℃),流体盐度介于 7.2%～8.3%(平均 7.7%),流体密度为 0.93 g/cm^3～0.96 g/cm^3(平均 0.95 g/cm^3);成矿后期石英大脉阶段流体包裹体的均一温度介于 129 ℃～253 ℃(平均 184 ℃),流体盐度介于 5.4%～11.2%(平均 7.6%),流体密度为 0.88 g/cm^3～0.98 g/cm^3(平均 0.95 g/cm^3)。从主成矿期、成矿晚期到成矿后期,流体包裹体均一温度降低、盐度增加、密度增大,表明随着流体的演化,变质流体逐渐减少,而地层建造水增加。主成矿期流体压力介于 62 MPa～73 MPa(平均 65 MPa),对应的成矿深度为 6.3 km～6.9 km(平均 6.5 km)。砂宝斯金矿床的地质-地球化学特征与世界造山型金矿类似,应属造山型,其形成于蒙古-中朝板块与西伯利亚板块之间的陆-陆碰撞造山环境。

【关键词】 流体包裹体;矿床成因;造山型金矿;砂宝斯金矿;上黑龙江盆地;大兴安岭北部

中图分类号:P618.51 **文献标识码**:A

文章编号:1001 - 6872(2008)01 - 0031 - 08

大兴安岭北段砂金矿床密布,是我国最古老而著名的砂金产地之一[1],但该区岩金矿床较少。因此,大兴安岭北部地区的砂金来源一直是个未解之谜[2]。砂宝斯金矿床是大兴安岭北部唯一大型岩金矿床,矿床产于上黑龙江前陆盆地内,受韧性剪切带控制,赋矿地层主要为中生代陆相碎屑岩,地质特征

收稿日期:2007 - 09 - 17; **改回日期**:2008 - 01 - 12
基金项目:国家自然科学基金项目(40772055,40373005 和 40573002);"十一·五"国家科技支撑计划项目(2007BAB25B03 和 2006BAB01A02 课题);中国博士后科学基金项目(20070410850)
作者简介:武 广,男,41 岁,研究员(博士),矿床学和地球化学专业,研究方向:热液矿床成矿理论与预测.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

明显不同于产于得尔布干成矿带内中生代陆相火山岩中的浅成低温热液型金矿床[3],其成因备受关注。对矿床地质特征的多有研究[4~8],然存在两个方面的问题:其一,流体包裹体为主的成矿流体系统研究极为薄弱,除齐金忠等[5]、贾伟光等[7]、王晓勇等[8]对该矿床部分流体包裹体均一温度和成分分析进行研究,对不同流体系统的包裹体组合特征流体盐度、压力、成分等参数及流体系统的演化则未深入;其二,对矿床类型的认识存在多种观点,权恒等[4]考虑到砂宝斯金矿与浅成低温热液型金矿的明显区别,将其称作"新类型"金矿、卡林型金矿;齐金忠等[5]、赵春荣等[6]从赋矿围岩类型出发,将其定名为蚀变砂岩型金矿;贾伟光等[7]、王晓勇等[8]根据少量的流体包裹体测温结果,认为矿床属中低温热液矿床。由于流体包裹体特征是厘定矿床成因类型的重要标志,希望砂宝斯金矿床流体包裹体的研究结果对矿床成因能够得到深入的认识。

1 区域地质和矿床地质特征

砂宝斯金矿床位于黑龙江省漠河县,大地构造位置隶属于蒙古-鄂霍茨克造山带东南缘上黑龙江盆地。该盆地是在额尔古纳地块基底之上发育起来的中生代前陆盆地[9,10]。盆地基底为古元古代兴华渡口群片岩、片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、混合岩、大理岩和早寒武世额尔古纳河组大理岩、板岩及兴凯-萨拉伊尔期花岗岩类[11]。中生代为盖层沉积,自下而上被划分为下-中侏罗统绣峰组、中侏罗统二十二站组和漠河组,为一套陆相砾岩、砂岩、粉砂岩及泥岩等组成的陆源湖、沼相碎屑岩沉积建造。盆地内出露的侵入岩较少,多数呈小的岩株状产出,主要为兴凯-萨拉伊尔期花岗岩类和燕山期花岗岩类。兴凯-萨拉伊尔期侵入岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 504 Ma～517 Ma[11],主要分布于洛古河—北极村一带,岩性以二长花岗岩和石英闪长岩为主,另有少量正长花岗岩和碱长花岗岩;燕山期花岗岩类分布于额木尔河上游、二十二站及二十一站等地,均以岩株、岩枝状产出,主要岩石类型为正长花岗岩和花岗闪长岩,以及少许的花岗闪长斑岩和花岗斑岩。正长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 129.8 Ma[12]。洛古河-二根河韧性剪切带长约 290 km,呈近东西向展布上黑龙江盆地中生代陆相碎屑岩中,控制了虎拉林、砂宝斯、老沟、砂宝斯林场、三十二站等金矿床(点)的产出[3]。

砂宝斯金矿床赋矿岩石为中侏罗统二十二站组砂岩—粉砂岩,以中-细粒砂岩为主,容矿构造为近南北向的脆性构造破碎带,蚀变带长 750 m～1 400 m,宽 200 m～350 m,围岩蚀变发育,主要为硅化、高岭土化、绢云母化。矿石中金属硫化物含量很少,占矿石总量的 1.44 %～1.95 %,但种类复杂。主要金属矿物有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、辰砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、辉钼矿、磁黄铁矿、磁铁矿,辉锑矿通常呈针状,局部可见块状辉锑矿。脉石矿物以石英为主,其次为长石、绿泥石、粘土矿物、方解石、石墨等。

主要蚀变带有 3 条,Ⅰ号蚀变带规模 750 m × 200 m,其内有两个工业矿体,Ⅰ-1 号矿体长 137.5 m,宽 15 m～34.2 m,矿体呈板状,平均厚 11.4 m,最高品位 13.06 $\times10^{-6}$,平均品位 4.06 $\times10^{-6}$;Ⅰ-2 号矿体长 75 m,宽 5.7 m～16.8 m,矿体呈板状,最高品位 8.63 $\times10^{-6}$,平均品位 4.03 $\times10^{-6}$。Ⅱ号蚀变带规模 950 m ×350 m,内有一个工业矿体,长 262.5 m,厚 3.0 m～28.38 m,呈鞍形,似层状,延深约 60 m,走向近南北,西倾,倾角约 30°,最高品位 13.0 $\times10^{-6}$,平均品位 4.09 $\times10^{-6}$。Ⅲ号蚀变带规模1 400 m ×200 m,内有两个工业矿体,矿体长 170 m～560 m,厚 2.42 m～5.0 m,陡倾、脉状,产状 270°∠60～81°,延伸 50 m～60 m,金矿石品位 3.90 $\times10^{-6}$～5.05 $\times10^{-6}$(图 1)。

根据脉体穿插关系,矿石结构、构造、矿物共生组合及矿物标型特征等,砂宝斯金矿床可划分为 4 个成矿期 5 个成矿阶段。即①成矿早期黄铁矿-石英阶段:表现为相对较粗的石英、黄铁矿呈脉状穿插于砂岩之中,该阶段黄铁矿自形程度高,但含矿性差;②主成矿期硫化物-石英阶段:主要金属矿物组合为黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿等,是本矿床的主要成矿阶段,该阶段硫化物一般呈细粒浸染状分布,与之相共生的石英呈团粒状或细脉状分布;③主成矿期细粒黄铁矿-石英-粘土矿物阶段:表现为石英、黄铁矿及粘土矿物呈浸染状、脉状分布于矿石之中,粘土矿物主要是蒙脱石、伊利石等,分布于黄铁矿-石英或黄铁矿脉体边缘,而黄铁矿一般呈细粒或微细粒产于脉体的中心部位;④成矿晚期辉锑矿-石英-方解石阶段:矿物组合为石英和方解石,金属矿物主要为辉锑矿和辰砂,黄铁矿少见,为热液活动晚期产物,不含金;⑤成矿后期石英阶段:分布于矿体外围,常为数十厘米宽的乳白色石英脉,未见金属硫化物,不含矿。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

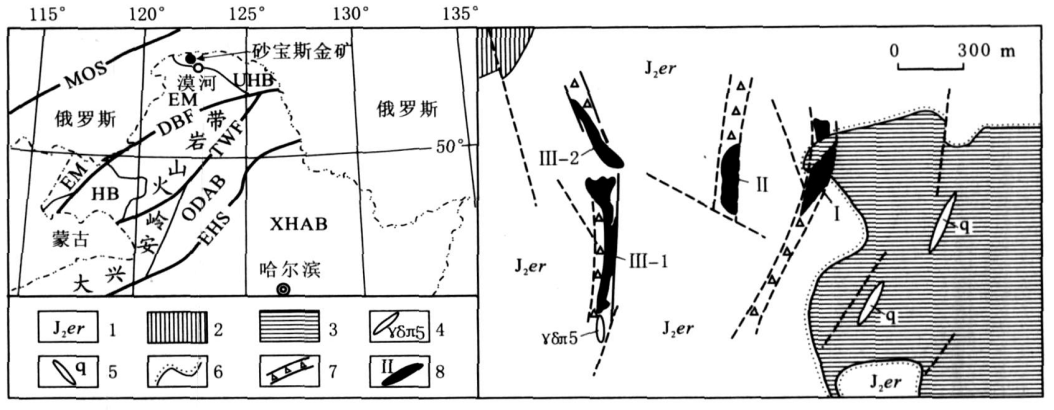


图 1　砂宝斯金矿床地质图

1. 中侏罗统二十二站组砂岩、粉砂岩; 2. 下泥盆统泥鳅河组灰岩、变砂岩; 3. 下寒武统额尔古纳河组大理岩、板岩、变砂岩; 4. 燕山期花岗闪长斑岩; 5. 石英脉; 6. 不整合界线; 7. 断层及破碎带; 8. 矿体及编号; EHS. 二连浩特-索伦山-黑河晚古生代缝合带; MOS. 蒙古-鄂霍茨克中生代缝合带; DBF. 得尔布干断裂带; TWF. 塔源-乌奴耳断裂带; EM. 额尔古纳地块; ODAB. 欧玉陶勒盖-多宝山古生代增生带; XHAB. 锡林浩特-哈尔滨古生代增生带; HB. 海拉尔盆地; UHB. 上黑龙江盆地

Fig. 1　Geological map of the Shabaosi gold deposit

2　样品特征与分析方法

研究样品采自砂宝斯金矿 I号矿体露天采场。其中 Hj_1S_1、Hj_1S_{1-1}和 Hj_1SD_{8B}样品为硫化物 - 石英阶段形成的含金石英脉;样品 Hj_1S_{1-2}为矿化中细粒砂岩,可见细粒黄铁矿、石英细网脉和粘土矿物,形成于黄铁矿-石英-粘土矿物阶段;样品 16-5 为成矿晚期辉锑矿矿石;样品 Hj_1D_3 和 Hj_1D_5 为成矿后期乳白色石英大脉,不含矿。这些包裹体均寄主于不同热液阶段形成的石英中。将上述样品磨制成厚度约为 0.2 mm 双面剖光的薄片做岩相学和流体包裹体观察,选择不同成矿阶段的原生和假次生包裹体进行显微测温和激光拉曼光谱分析。包裹体显微测温在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成。显微冷热台为 Linkam THMS600 型,可测温度范围为 - 196 ℃～ + 600 ℃,测试前用人造纯 H_2O 及盐度为 25 %的 H_2O—NaCl 包裹体(国际标样)进行系统校正,该冷热台在 - 120 ℃～ - 70 ℃温度区间的测定精度为 ±0.5 ℃, - 70 ℃～ + 100 ℃区间为 ±0.2 ℃,在 100 ℃～500 ℃区间为 ±2 ℃。测试升温速率一般为 0.2 ℃/ mm～5 ℃/ min,相变点附近升温速率降低为 0.2 ℃/ min。

砂宝斯金矿床主要发育气液两相包裹体,因此只测定该类型包裹体的冰点温度和完全均一温度。根据冰点温度,利用经验公式[13]计算或实验相图[14]确定流体盐度;然后利用温度-盐度-密度相图[15]、经验公式[16]或直接查表[17]求得流体密度。

包裹体激光拉曼光谱分析亦在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成。仪器为 Renishaw System1000 型激光拉曼光谱仪,采用 514 nm Ar^+ 离子激光器,激光功率 5 mW,激光束斑大小约为 1 mm,扫描范围4 500 cm^{-1}～850 cm^{-1},狭缝宽度 20 mm,积分时间 150 s,拉曼峰位移精度为 ±1 cm^{-1},成分相对含量最低检测限为 0.n %。

3　流体包裹体岩相学及显微测温学

本次工作对砂宝斯金矿中的金矿石、蚀变岩石、成矿晚期辉锑矿石及成矿后期的石英脉等 7 件样品进行流体包裹体岩相学和显微测温研究。

3.1　流体包裹体类型及特征

依据包裹体成分和室温下的相态,原生和假次生包裹体被分为 3 种类型: I型(气液两相水溶液包裹体)、II型(含 CO_2 三相包裹体)和 III型(纯 CO_2 包裹体)。

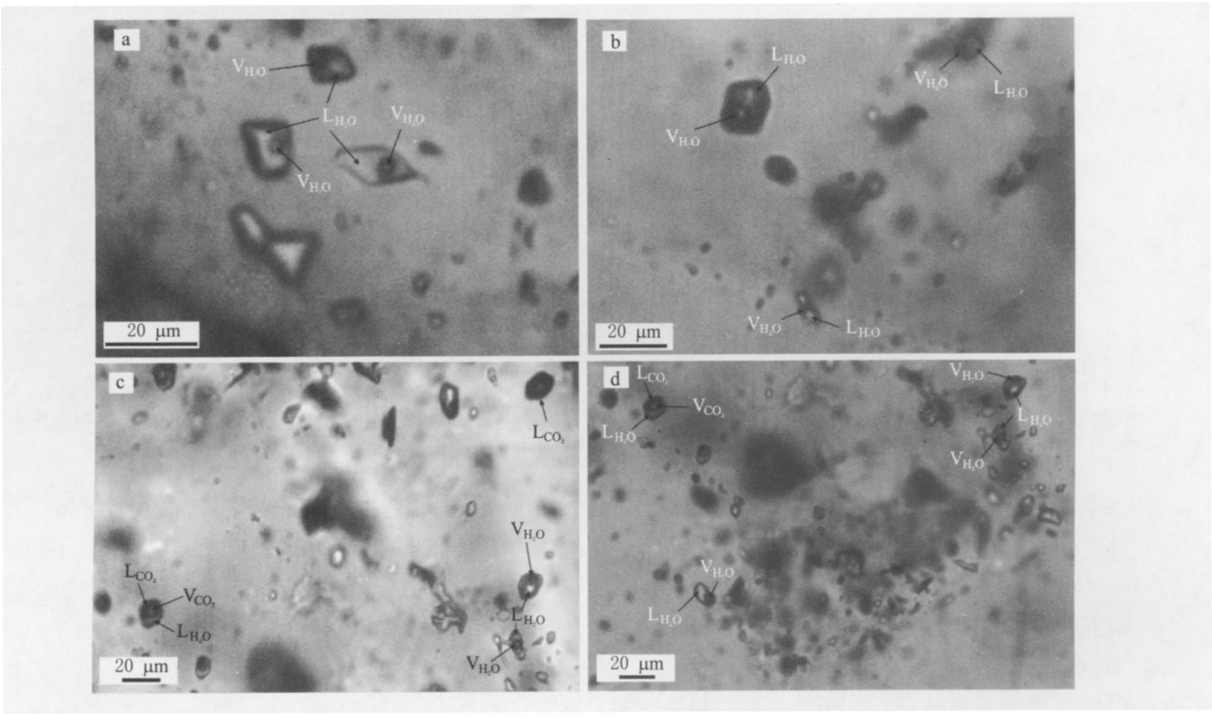
I型包裹体,室温下由水溶液相及气泡两相构成,包裹体的气液比介于 10 %～40 %,大部分在 10 %～20 %之间,加热后均一到液相。该类包裹体约占包裹体总数的 95 %,在主成矿期、成矿晚期和成矿后各阶段均普遍发育,大小介于 4 μm～10 μm,多数在 7 mm 左右(照片 1a,b,c 和 d)。包裹体形态有椭圆形、四边形(照片 1a 和 b)和长条形(照片 1c 和 d)。

II型为含 CO_2 三相包裹体,由气相 CO_2、液相 CO_2 和液相水溶液组成。该类型包裹体仅在含金石英脉样品中偶尔见到,CO_2 约占包裹体总体积的 60 %;在 CO_2 相中,气相 CO_2 占 CO_2 相总体积的 30 % ±,包裹体大小在 10 μm ±(照片 1c 和 d)。该

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

类型包裹体呈规则的椭圆形和圆形(照片 1c 和 d)。

Ⅲ型为纯 CO_2 包裹体,全部由 CO_2 组成。该类包裹体含量较少,仅在含金石英脉样品中偶尔发现,气相 CO_2 占 CO_2 相总体积的 10 %～20 %,包裹体大小在 12 mm ±(照片 1c)。包裹体形态简单,为负晶形(照片 1c)。



照片 1 砂宝斯金矿床流体包裹体照片

a. 样品 16-5 中 Ⅰ型包裹体; b. 样品 Hj_1D_3 中 Ⅰ型包裹体; c. 样品 Hj_1S_1 中 Ⅰ, Ⅱ和 Ⅲ型包裹体; d. 样品 Hj_1S_1 中 Ⅰ和 Ⅱ型包裹体

Photo 1 Photomicrographs of fluid inclusions from the Shabaosi gold deposit

3.2 流体包裹体均一温度、盐度和密度

7 件样品中 147 个流体包裹体均一法测温结果见表 1 和图 2a。主成矿期样品 Hj_1S_1、Hj_1S_{1-1} 和 Hj_1SD_{8B} 的 71 个流体包裹体平均均一温度为 267 ℃,代表了砂宝斯金矿成矿流体温度;矿化中细粒砂岩样品 Hj_1S_{1-2} 中 22 个流体包裹体的平均均一温度 200 ℃,为矿化蚀变岩阶段流体的温度;成矿晚期辉锑矿矿石样品 16-5 中 20 个流体包裹体的平均均一温度为 182 ℃,显示了成矿晚期辉锑矿化阶段温度;成矿后期白色石英大脉样品 Hj_1D_3 和 Hj_1D_5 中 34 个流体包裹体的平均均一温度为 184 ℃,代表了成矿后期热液温度。上述测温结果表明,砂宝斯金矿主成矿阶段流体具有中温热液特点。

根据 9 个冰点温度计算出主成矿阶段流体盐度为 5.4 %～6.3 %,平均 5.9 %;辉锑矿阶段 10 个流体包裹体盐度为 7.2 %～8.3 %,平均 7.7 %;成矿后石英脉中 6 个流体包裹体盐度为 5.4 %～11.2 %,平均 7.6 %(表 1 和图 2b)。表明砂宝斯金矿的成矿流体盐度较低。

根据均一温度和盐度,应用经验公式 $\rho = a + b\,T_h + c\,T_h^2$ (a,b 和 c 均为无量纲参数)[16],求得包裹体流体的密度。主成矿阶段流体密度介于 0.82 g/cm^3～0.87 g/cm^3,平均 0.86 g/cm^3;辉锑矿阶段流体密度介于 0.93 g/cm^3～0.96 g/cm^3,平均 0.95 g/cm^3;成矿后期石英大脉阶段流体密度介于 0.88 g/cm^3～0.98 g/cm^3,平均 0.95 g/cm^3(表 1)。

总之,砂宝斯金矿的流体包裹体显示了中温、低盐度、中-低密度的特征。

表 1 砂宝斯金矿床石英中气液两相流体包裹体特征及参数

Table 1 Characteristics and parameters of Ⅰtype fluid inclusion in quartz from the Shabaosi gold deposit

矿(岩)石类型	样号	大小/μm	测次	气液比/%	冰点温度/℃	均一温度范围/℃	均一温度均值/℃	盐度/%	密度/(g·cm^{-3})	压力/MPa	深度/km
含金石英脉	Hj_1S_1	6～9	19	10～40	-3.9～-3.3	230～268	243	5.4～6.3	0.82～0.87	62～73	6.3～6.9
	Hj_1S_{1-1}	4～10	27	10～30		246～365	300				
	Hj_1SD_{8B}	4～10	25	10～40		156～348	248				
蚀变砂岩	Hj_1S_{1-2}	4～10	22	10～20		145～277	200				
辉锑矿矿石	16-5	6～10	20	5～15	-5.3～-4.5	164～224	182	7.2～8.3	0.93～0.96	45～52	5.3～5.8
成矿后石英脉	Hj_1D_3	6～10	12	5～15	-7.6～-3.3	129～253	167	5.4～11.2	0.88～0.98	37～69	3.7～6.7
	Hj_1D_5	5～10	22	10～15		149～236	193				

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

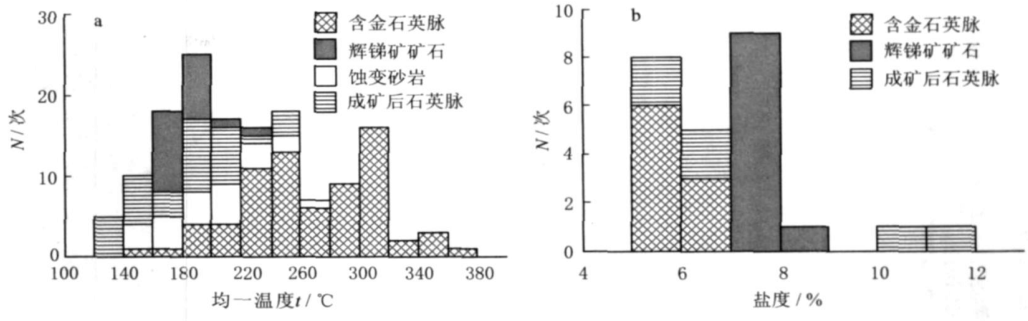


图 2　砂宝斯金矿床流体包裹体均一温度(a)和盐度(b)直方图

Fig. 2　Histograms showing homogenization temperature (a) and salinity (b) of fluid inclusions in the Shabaosi gold deposit

3.3　流体包裹体压力及成矿深度

根据流体包裹体的均一温度和流体盐度,利用计算流体压力的经验公式 $p = p_0 T_h / T_0$ (式中 $p_0 = 219\ w + 2\ 620\ w$, $T_0 = 374\ w + 920\ w$) [18]计算出 I 型包裹体的流体压力。结果表明,金成矿阶段流体包裹体的压力范围为 62 MPa～73 MPa,均值为 65 MPa;辉锑矿阶段流体包裹体的压力范围为 45 MPa～52 MPa,均值为 48 MPa;成矿后石英大脉阶段流体包裹体的压力范围为 37 MPa～69 MPa,均值为 48 MPa(表 1)。

成矿深度是研究矿床成因和勘查潜力的重要依据,为估算成矿深度的地质学和地球化学方法。其中,最受欢迎的方法是根据流体包裹体捕获压力估算成矿深度。对于断裂控制的脉状热液矿床而言,成矿流体系统可为静岩压力,也可为静水压力,拟或二者交替[19]。一般认为,在深度 < 5 km 或脆性变形带,流体为静水压力;在深度 > 16 km 或韧性变形带,流体为静岩压力;在深度为 5 km～16 km 或脆-韧性变形带,流体出现静水-静岩压力的交替[19,20]。因此,根据断裂带流体压力的垂直分带性或非线性关系,孙丰月等拟合了一组流体压力-深度关系式[21],根据这些关系式,求得砂宝斯金矿主成矿期、晚期辉锑矿阶段和成矿后石英大脉的形成深度分别为 6.5 km(介于 6.3 km～6.9 km)、5.5 km(介于 5.3 km～5.8 km)和 4.8 km(介于 3.7 km～6.7 km)。

4　流体包裹体激光拉曼光谱分析

流体包裹体激光拉曼光谱分析显示,砂宝斯金矿流体包裹体气相成分主要为 CH_4, N_2, CO_2 和 H_2O,属 H_2O-CO_2-N_2-CH_4 体系,即含氮的碳水流体。在激光拉曼图谱中,无论金成矿阶段,还是成矿晚期辉锑矿阶段,抑或成矿后石英大脉阶段,均出现强烈的 2330 峰、2331 峰和 2916 峰、2918 峰、2919 峰(图 3),表明 N_2 和 CH_4 在成矿各阶段都是主要的气相成分;辉锑矿阶段出现明显的 3407 峰、3449 峰和 3472 峰,表明该阶段有较多的水参与了辉锑矿的成矿作用(图 3c, d);此外,多数样品的激光拉曼图谱中还出现强度不同的 1285 峰、1287 峰、1288 峰和 1388 峰、1389 峰、1390 峰(图 3a, b, c, d 和 f),显示 CO_2 在砂宝斯金矿形成中起着重要作用。

总之,激光拉曼光谱分析表明,砂宝斯金矿成矿流体的气相成分以 N_2 和 CH_4 为主,并含有一定量的 CO_2 和 H_2O,构成 H_2O-CO_2-N_2-CH4 体系。表明有机质是不可缺少的流体来源,预示着含有机质的沉积物变质脱水是重要的流体来源方式。

5　讨　论

5.1　成矿流体来源

砂宝斯金矿赋存于中侏罗统二十二站组含碳碎屑岩中,主成矿阶段发育气液两相、含 CO_2 三相和纯 CO_2 包裹体,包裹体气相成分主要为 N_2, CH_4, CO_2 和 H_2O,属 H_2O-CO_2-N_2-CH_4 体系,即含氮的碳水流体,成矿流体具有中温(均一温度均值为 267 ℃)、低盐度(平均 5.9 %)、低密度(平均 0.86 g/cm^3)特点。研究表明,造山型金矿成矿流体为变质成因的低盐度(< 10 %)、富 CO_2 (> 5 %～30 % mole)的碳质流体,即 H_2O-CO_2 ±N_2 ±CH_4 ±H_2S ±有机组分[22～28],砂宝斯金矿成矿流体特征与造山型金矿相似,应以变质热液为主。研究表明,有机碳对金矿床金的迁移、富集成矿有重要作用[29],富含有机质的岩层在低级变质环境下发生有机质的分解反应,将形成以 N_2 和 CH_4 为主的低级变质流体[30],

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

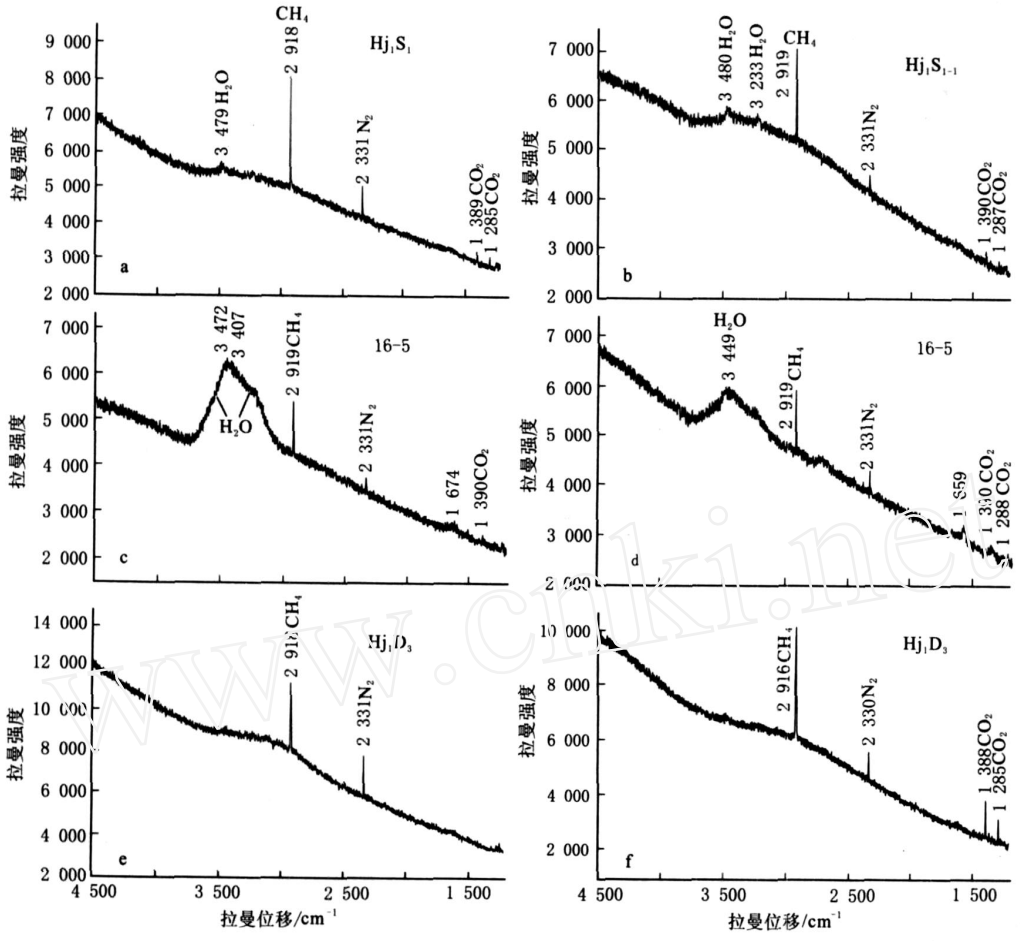


图 3 砂宝斯金矿流体包裹体的激光拉曼图谱

a,b. 主成矿阶段; c,d. 成矿晚期辉锑矿阶段; e,f. 成矿期后石英大脉阶段

Fig. 3 Laser Raman Spectra of fluid inclusions of the Shabaosi gold deposit

当包裹体中 N_2 和 CH_4 的含量增加时,往往出现金矿的富集[31]。砂宝斯金矿流体包裹体成分中高的 N_2、CH_4 和 CO_2 含量,反映了金成矿过程中二十二站组地层中有机碳参予了金的运移、富集及沉淀成矿。富含有机质的二十二站组地层在强烈韧性剪切变形过程中形成的变质水和地层中的建造水可能是砂宝斯金矿成矿流体主要来源。砂宝斯金矿成矿晚期辉锑矿阶段和成矿后石英脉的温度降低、盐度升高,表明从主成矿期到成矿晚期和成矿后期,来自地层中的建造水明显增加,深部变质流体减少。

针对各成矿阶段作了少量的硫、氢和氧同位素研究(样品由中国地质科学院矿产资源研究所测试,仪器型号为 MAT251EM 质谱仪,分析精度为 0.2‰),主成矿阶段 3 件石英细脉状金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值变化于 +2.2‰~ +9.6‰之间,成矿晚期 1 件辉锑矿的 $\delta^{34}S$ 值为 -1.6‰,极差 11.2‰。齐金忠等[5]对砂宝斯金矿床矿石中的黄铁矿、闪锌矿硫同位素进行了测试,5 件黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值变化于 -8.3‰~ +5.6‰之间,1 件闪锌矿的 $\delta^{34}S$ 值为 1.88‰,极差为 13.9‰。上述结果显示砂宝斯金矿床的硫同位素离散性较大,表明容矿岩地层中的硫参与了成矿作用。另外 2 件主成矿阶段石英细脉状金矿石中石英的 $\delta^{18}O$ 值分别为 18.3‰和 23.9‰,成矿后期 1 件乳白色石英脉中的石英 $\delta^{18}O$ 值为 18.7‰,上述 3 件样品的 $\delta D_{水}$ 值分别为 -95‰, -104‰和 -89‰,根据 Clayton *et al* 分馏方程[32]计算出的 $\delta^{18}O_{水}$ 值分别为 10.1‰,15.7‰和 6.5‰。此氢和氧同位素结果表明成矿流体主要来自变质水和地层建造水,成矿晚期和成矿后期大气降水的参与程度增强。齐金忠等[5]对砂宝斯金矿赋矿地层侏罗系砂岩中的碳质页岩及细脉状石墨作了碳同位素组成分析,结果表明碳质页岩中的沉积碳和细脉状石墨的 $\delta^{13}C$ 均为 -21.1‰,与有机物的 $\delta^{13}C$ 值[33]相吻合。反映成矿热液中的碳完全来自地层本身,表明侏罗系砂岩中的碳质及成矿物质在成矿过程中发生过活化迁移。

总之,砂宝斯金矿成矿流体主要来自韧性剪切

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

变形期间形成的变质水及地层建造水,地层中的有机质参与了成矿作用,成矿流体属于含氮和碳的低级变质流体。

5.2　矿床成因类型和成矿构造背景

野外地质调查显示,砂宝斯金矿床受近东西向延伸的洛古河-二根河韧性剪切带控制,矿体赋存于该韧性剪切带派生的近南北向次级张扭性断裂中,对围岩没有选择性;金矿石中硫化物以黄铁矿为主,硫化物含量一般不超过 3 %,为少硫化物型矿石。

流体包裹体研究表明,主成矿期成矿流体以低盐度(5.4 %～6.3 %)、中等温度(平均 267 ℃)、低密度(0.82 g/cm^3～0.87 g/cm^3)为特征,成矿流体气相成分中富含 N_2,CH_4 和 CO_2,即含氮的碳水流体。上述特征与造山型金矿床流体特征[22]相似。因此,将其归属为造山型金矿床。

金矿体主要产于中侏罗统二十二站组砂岩、粉砂岩中,说明成矿作用晚于中侏罗世。鉴于研究区毗邻蒙古-鄂霍茨克缝合带,而蒙古-鄂霍茨克洋盆在早中生代自西向东闭合,洋盆闭合后的陆陆碰撞造山作用应自西向东始于三叠纪-早侏罗世[34,35],即中侏罗世及其以后的一定时期应属陆陆碰撞造山环境[36]。如此,成矿时间不早于中侏罗世的砂宝斯金矿只能形成于蒙古-鄂霍茨克陆陆碰撞造山环境。

综上所述,砂宝斯金矿床地质特征及成矿流体性质与造山型金矿极为相似,属造山型金矿床,其形成于蒙古-鄂霍茨克陆陆碰撞造山环境。

6　结　论

6.1　砂宝斯金矿床石英脉中的流体包裹体主要为气液两相,另有极少量的含 CO_2 三相和纯 CO_2 包裹体。流体包裹体气相成分主要为 N_2,CH_4,H_2O 和 CO_2,属 H_2O-CO_2-N_2-CH_4 体系。富含有机质的二十二站组地层在强烈韧性剪切变形过程中形成的变质水和地层建造水是砂宝斯金矿成矿流体主要来源。

6.2　砂宝斯金矿成矿流体为中温(均一温度平均为 267 ℃)、低盐度(平均 5.9 %)、低密度(平均 0.86 g/cm^3)的浅变质热液。从主成矿期到成矿晚期和成矿后期,流体包裹体均一温度降低、盐度增加、密度增大。

6.3　矿床成因类型属造山型,估算的平均成矿深度为 6.5 km,属中成造山型金矿亚类,其形成于蒙古-鄂霍茨克陆陆碰撞造山环境。

参考文献

[1] 吕英杰,马大明,金洪涛. 中国砂金矿的分布规律及其找矿方向[M]. 北京:地质出版社,1992,1-6.
[2] 张宝林,宋长春,淳于树菊,等. 大、小兴安岭北部砂金岩金相互关系及岩金找矿方向的初步研究[J]. 地质地球化学,1996,1:1-5.
[3] 武　广,孙丰月,朱　群,等. 上黑龙江盆地金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质,2006,25(3):215-230.
[4] 权　恒,武　广,张炯飞. 得尔布干成矿带新类型金矿及资源潜力[J]. 贵金属地质,1998,7 (4):302-303.
[5] 齐金忠,李　莉,郭晓东. 大兴安岭北部砂宝斯蚀变砂岩型金矿地质特征[J]. 矿床地质,2000,19(2):116-125.
[6] 赵春荣,赵淑华,梁海军. 黑龙江砂宝斯金矿地质特征及找矿方向[J]. 黄金地质,2000,6(4):28-32.
[7] 贾伟光,王晓勇,张春辉,等. 黑龙江砂宝斯金矿成矿流体性质研究[J]. 地质与资源,2004,13(3):148-151.
[8] 王晓勇,贾伟光,张春辉,等. 黑龙江砂宝斯金矿床成矿物理化学环境研究[J]. 黄金,2005,26(2):8-11.
[9] 和政军,李锦轶,莫申国,等. 漠河前陆盆地砂岩岩石地球化学的构造背景和物源区分析[J]. 中国科学(D 辑),2003,33(12):1 219-1 226.
[10] 李锦轶,莫申国,和政军,等. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约[J]. 地学前缘,2004,11(3):157-167.
[11] 武　广,孙丰月,赵财胜,等. 额尔古纳地块北缘早古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义[J]. 科学通报,2005,50(20):2 278-2 288.
[12] 武　广,李之彤,李广远,等. 黑龙江省漠河县洛古河地区岩浆作用与成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报,2004,23(增刊):78.
[13] Potter R W Ⅱ,Clynne M A,Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions[J]. **Econ Geol**,1978,73:284-285.
[14] Bodnar R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H2O-NaCl solution[J]. **Geochim Cosmochim Acta**, 1993,57:683-684.
[15] Bodnar R J. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and *PVTX* properties of inclusion fluids[J]. **Econ Geol**,1983,78:535-542.
[16] 刘　斌,段光贤. NaCl-H_2O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报,1987,7 (4):345-352.
[17] 刘　斌,沈　昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999,1-290.
[18] 邵洁连. 金矿找矿矿物学[M]. 北京:中国地质大学出版社,1990,1-158.
[19] Sibson R H,Robert F,Poulsen K H. High-angle reverse faults,fluid-pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits[J]. **Geol**, 1988,16:551-555.
[20] Cox S F. Faulting processes at high fluid pressure:an example of fault valve behavior from Wattle Gully fault,Victoria,Australia[J]. **Jour Geophys Res**,1995,100:12 841-12 859.
[21] 孙丰月,金　巍,李碧乐,等. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报,2000,30 (增刊):27-30.
[22] Groves D I,Goldfarb R J,Gebre-Mariam M, *et al*. Orogenic gold deposits:A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. **Ore Geol Rev**,1998,13 (1～5):7-27.
[23] Kerrich R,Goldfarb R J,Groves D I, *et al*. The characteristics,origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces [J]. **Science in China Series D**,2000,43(Supp.):1-68.
[24] Hagemann S G,Cassidy K F. Archean orogenic lode Au deposits[J]. **Rev Econ Geol**,2000,13:9-68.
[25] 陈衍景,李　晶,Pirajno F,等. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用:矿床地质和包裹体研究[J]. 矿物岩石,2004,24 (3):1-12.
[26] 陈衍景,林治家,Pirajno F,等. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用:稳定同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石,2004,24 (3):13-21.
[27] 陈衍景,唐国军,Pirajno F,等. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用:放射成因同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石,2004,24 (3):22-27.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[28] 李 晶,陈衍景,刘迎新. 华北克拉同若干脉状金矿的黄铁矿标型特征与流体成矿作用[J]. **矿物岩石**,2004,24 (3):93-102.
[29] 庄汉平,卢家烂. 与有机质有成因联系的金属矿床[J]. **地质地球化学**,1996,4:6-11.
[30] 卢焕章,李秉伦,沈 昆,等. **包裹体地球化学**[M]. 北京:地质出版社,1990,210-214.
[31] 张文淮,张志坚,伍 刚. 成矿流体及成矿机制[J]. **地学前缘**,1996,3 (3-4):245-252.
[32] Clayton R N,O Neil J R,Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. **J Geophys Res**,1972,(B77):3 057-3 067.
[33] Hoefs J. **Stable Isotope Geochemistry (Forth Edition)** [M]. Berlin:Springer-Verlag,1997,201.
[34] Zorin Yu A. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt,Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia[J]. **Tectonophysics**,1999,306:33-56.
[35] Parfenov L M,Popeko L I,Tomurtogoo O. Problems of tectonics of the Mongolia-Okhotsk orogenic belt[J]. **Geol of Pac Ocean**,2001,16:797-830.
[36] 董树义,钟康惠,唐菊兴,等. 内蒙小伊诺盖沟金矿:后韧性剪切型金矿[J]. **矿物岩石**,2004,24 (2):46-52.

CHARACTERISTICS OF ORE-FORMING FLUID AND GENESIS OF THE SHABAOSI GOLD DEPOSIT IN THE NORTHERN DAHINGGAN MOUNTAIN

WU Guang[1], LI Zhong-quan[2], MEI Mei[1,3], LIU Jun[1,3], ZHU Ming-tian[1,3]

1. *Key Laboratory of Mineralization Dynamics, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640, *China;*
2. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China;*
3. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*

Abstract: The host rock of the Shabaosi gold deposit was mainly composed of sandstone and siltstone of the Ershierzhan Formation, Middle Jurassic, and the ore bodies occurred in the SN-trending brittle fault zone. Based on the study of the fluid inclusion, micro-thermometry and Laser Raman Spectrographic analyses, which came from the major mineralization phase, stibnite-forming phase and post-mineralization phase, respectively, the characteristics of ore-forming fluid, fluid evolution and the origin of the Shabaosi gold deposit, were discussed and systematically studied. The results showed that these inclusions consisted of mainly 2 phases of gas and liquid, with minor 3 phases of inclusions of gas, liquid and CO_2 as well as pure CO_2. Analysis showed that the compositions of liquid in the inclusions were N_2, CH_4, CO_2 and H_2O. The homogenization temperature, salinity and density of fluid inclusions for the major mineralization phase, ranged from 156 ℃ to 365 ℃ (average 267 ℃), 5.4 % to 6.3 % (average 5.9 %), and 0.82 g/cm^3 to 0.87 g/cm^3 (average 0.86 g/cm^3), respectively. The homogenization temperature, salinity and density of fluid inclusions for the stibnite-forming phase of late mineralization, ranged from 164 ℃ to 224 ℃ (average 182 ℃), 7.2 % to 8.3 % (average 7.7 %), and 0.93 g/cm^3 to 0.96 g/cm^3 (average 0.95 g/cm^3), respectively. The homogenization temperature, salinity and density of fluid inclusions for the post-mineralization phase, ranged from 129 ℃ to 253 ℃ (average 184 ℃, 5.4 % to 11.2 % (average 7.6 %), and 0.88 g/cm^3 to 0.98 g/cm^3 (average 0.95 g/cm^3), respectively. From the major mineralization to late mineralization, the homogenization temperature of fluid inclusions decreased, the salinity of fluid and the density of fluid increased, indicating that the ore-forming fluid of early phase was dominated by metamorphic fluid, and the fluids of late and post-mineralization stage was stratum formation water. The ore-forming pressure of major mineralization phase is 62 MPa～73 MPa with average of 65 MPa, corresponding to depth ranging from 6.3 km to 6.9 km (average 6.5 km). The geological and geochemical features of the Shabaosi gold deposit were similar to those of orogenic gold deposits in the world, and could be assigned to the orogenic type. The formation of deposit may be related to Mesozoic collisional orogeny between the Siberia and Mongolia-Sinokorea continents.

Key words: fluid inclusion; origin of the deposit; orogenic gold deposit; Shabaosi gold deposit; Upper Heilongjiang Basin; northern Dahinggan Mountain

ISSN 1001-6872(2008)01-0031-08; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Wu Guang, male, 41 years old, a research fellow of ore deposit and geochemistry. Now he is engaged in the research of metallogenic theory and prediction on hydrothermal deposits.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net