

湖南瑶岗仙钨矿床流体包裹体特征及其意义*

王巧云^{1,2} 胡瑞忠^{1**} 彭建堂¹ 毕献武¹ 武丽艳^{1,2} 刘华^{1,2} 苏本勋³

WANG QiaoYun^{1,2}, HU RuiZhong^{1**}, PENG JianTang¹, BI XianWu¹, WU LiYan^{1,2}, LIU Hua^{1,2} and SU BenXun³

1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

3. 冈山大学地球物质科学研究所, 三朝町, 鸟取县 682-0193 日本

1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3. Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University, Misasa, Tottori 682-0193, Japan

2007-03-28 收稿, 2007-05-27 改回。

Wang QY, Hu RZ, Peng JT, Bi XW, Wu LY, Liu H and Su BX. 2007. Characteristics and significance of the fluid inclusions from Yaogangxian tungsten deposit in south of Hunan. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2263–2273

Abstract There are three dominant types of fluid inclusion related to metallogenesis in Yaogangxian quartz-vein wolframite deposit and skarn scheelite deposit: liquid-rich inclusion, gas-rich two-phase inclusion and daughter-minerals bearing polyphase inclusion. The homogenized temperatures and salinity of fluid inclusions in quartz range from 180°C to 300°C and from 0.88 to 6.45 wt% NaCl eqv, of the inclusions in garnet vary from 190°C to 300°C and from 0.1 to 8.95 wt% NaCl eqv respectively. Density of the fluids is 0.81 ~ 0.89 g/cm³. These features represent that the fluids are medium temperature, low density and low salinity in the two types of fluids in this tungsten deposits. Pressure of the fluid was 120 ~ 160 MPa, indicating that the two types of tungsten deposits were formed at depth of 7 ~ 9 km. The analytic results get by Laser Raman Spectroscopy, indicate that the fluid is rich in volatile components, such as CH₄, CO₂ and H₂O. Therefore, from the formation of the skarn scheelite to the quartz-vein, the fluid is the transitional fluid between magma and hydrothermal. Since Yanshanian Period, this area suffered asthenosphere upwelling, lithospheric extension, thinning and crust-mantle interaction, so the fluid riched in C-H of W-bearing quartz vein of Yaogangxian tungsten deposit most likely came from mantle transition belt or asthenosphere.

Key words Yaogangxian, Quartz-vein wolframite tungsten deposit, Fluid inclusion, Laser Raman spectroscopy, Origin of the mineral substance

摘要 对瑶岗仙石英脉型钨矿床的石英、萤石和夕卡岩型钨矿床中石榴石流体包裹体的岩相学特征研究表明,与成矿有关的包裹体主要有三类:富液相、富气相和含子晶的多相包裹体。脉型钨矿床中石英包裹体均一温度范围为 180°C ~ 300°C,盐度 0.88 ~ 6.45 wt% NaCl eqv; 矽卡岩型钨矿床中石榴石包裹体的均一温度范围为 190°C ~ 300°C,盐度 0.1 ~ 8.95 wt% NaCl eqv; 成矿溶液的密度为 0.81 ~ 0.89 g/cm³,表明形成这两种类型矿床的成矿流体均属于中温、低盐度、低密度的流体;成矿压力为 120 ~ 160 MPa,成矿深度约为 7 ~ 9 km,因此该矿床是在中高压、中深成条件下形成的。激光拉曼探针分析表明,石英中包裹体的气相成分比石榴石中的更富含 CH₄、CO₂ 和 H₂O 等挥发份,说明流体是一种介于岩浆与热液之间的过渡性流体,具有上部偏液、下部偏浆的特点。由于该区自燕山期以来软流圈上隆,岩石圈经历了强烈的伸展、减薄作用和壳幔相互作用,而 C-H 还原性组分的增加,指示流体很可能来自于深部的地幔过渡带或者软流圈。

关键词 瑶岗仙; 石英脉型黑钨矿矿床; 流体包裹体; 激光拉曼探针分析; 成矿物质来源

中图法分类号 P618.67

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-125)、国家自然科学基金重点项目(40634020)和国家973项目(2007CB411408)资助。

第一作者简介:王巧云,女,1980年生,硕士研究生,地球化学专业, E-mail: wangqiaoyun11000@163.com

** 通讯作者:胡瑞忠,男,1958年生,研究员,主要从事矿床地球化学研究, E-mail: huruizhong@vip.gyig.ac.cn

长期以来,对于石英脉型黑钨矿矿床成因问题的研究,多数认为该类矿床的形成与S型花岗岩或改造型花岗岩密切相关(冶金部南岭钨矿专题组,1985;卢焕章,1986;王昌烈等,1987;袁中信和张宗清,1992;毛景文等,1995;毛景文,1997;刘义茂等,1998)。但是,自二十世纪八十年代以来,许多学者提出了形成石英脉型黑钨矿矿床的成矿流体不是稀薄的溶液而是粘稠的流体的观点,突破了高中温热液充填成矿和仅有地壳流体参与成矿作用的传统认识。如朱焱龄等(1981)认为形成黑钨矿石英大脉的流体是以SiO₂为主的熔体;林新多等(1986)和陈依壤(1995)从矿脉关系、围岩蚀变、石英脉的晶洞特征、黑钨矿中MnO/FeO比值变化等诸多方面的研究,认为湖南瑶岗仙石英脉型黑钨矿矿床的流体是一种介于岩浆与热液之间的过渡性流体,具有上部偏液、下部偏浆的特点。并且,近年来对南岭地区多金属矿带成矿背景的研究发现,千里山花岗岩属于铝质碱性花岗岩(赵振华等,2000;柏道远等,2005),高钾、低铝,Sr、Nd、O、Pb、Os等同位素的组成以及花岗质岩石中暗色微粒包体的特征均说明,在矿床形成过程中伴随有壳幔相互作用、深源物质的加入和深源岩浆活动(赵振华等,2000;朱金初等,2003;马铁球等,2005;付建明等,2006)。

关于湖南瑶岗仙钨矿床的地质构造、岩石地球化学以及同位素年代学等方面已有较多研究(陈依壤,1981,1988,1992;Peng *et al.*, 2006)。然而对该矿床流体包裹体的工作仅限于对包裹体特征及成矿溶液性质的研究(卢焕章,1986;倪纪文,1994),尚未开展构造期次、岩相等详细限定的单个流体包裹体的研究以及对成矿流体演化机制的探讨。作为古流体的样品,矿物中捕获的流体包裹体能够很好地指示流体成矿的全过程,因而在矿床研究中有着极其广泛的应用(范宏瑞等,1998;卢焕章等,1999;Lu *et al.*, 2003;Parnell *et al.*, 2000;Jia *et al.*, 2000;Smith and Henderson, 2000;Wilkinson, 2001;Alfons *et al.*, 2001;范宏瑞等,2003)。为了更深入地研究瑶岗仙钨矿成矿流体的性质和演化,在前人研究的基础上,本文结合流体包裹体的岩相学特征及其产出的构造特征,对瑶岗仙钨矿流体包裹体进行了显微测温 and 激光拉曼探针分析,从而确定瑶岗仙钨矿成矿流体的性质,并讨论成矿物质来源及其成矿机制。

1 地质背景

瑶岗仙钨矿区地处南岭东西复杂构造带北端,加里东隆起带与印支-燕山凹陷带的交汇地带(林新多等,1986)。该区广泛发育不同类型的褶皱和断裂,并伴随着相应的岩浆活动和成矿作用,形成了现今以东北-北北东褶皱和断裂为主导的构造格架(图1;车勤建等,2005)。自北西向东南主要构造有清江向斜、瑶岗仙背斜、二都向斜等北东向大断裂,以及相关的北西、北西西向的次级断裂。瑶岗仙背斜南部倾灭端与北东向大断裂交汇部位控制着瑶岗仙矿区,北西向和北

西西向次级断裂控制着黑钨矿-石英脉型钨矿床和矿体的分布(周柏生等,2002)。

矿区内出露的地层有寒武系浅变质砂岩、板岩,中泥盆统砂岩、砂砾岩、页岩,中、上泥盆统灰岩、页岩,下、中石炭统灰岩、砂岩、页岩,下侏罗统石英砂岩、长石砂岩、砂砾岩、页岩,其中泥盆统地层为含矿的主要层位(图1;陈依壤,1981;林新多等,1986;周柏生等,2002;Peng *et al.*, 2006)。瑶岗仙钨矿赋存于燕山早期花岗岩体内外接触带,以外带为主,尤以岩体隆起部位的中心地带最为发育,是湖南首次发现的“五层楼”式脉钨矿床,即从花岗质岩体顶部到浅变质围岩,依次出现五个矿化层次:尖灭带—大脉带—薄脉带—细脉带—一线脉带(陈依壤,1981;林新多等,1986)。瑶岗仙复式岩体沿老虎垄背斜的走向转折端侵入,断裂裂隙发育。岩浆岩有四期,并伴随四期六个阶段的矿化(刘德镒,1994;芮宗瑶等,2003):

第一期花岗岩 γ_5^{-1} ,中粗粒斑状黑云母花岗岩,年龄为177~178Ma,属燕山早期活动产物;形成砂页岩中石英细脉,细脉浸染型白钨矿化及石灰岩中的夕卡岩型白钨矿体。

第二期花岗岩 γ_5^{-2} ,中粗粒白云母花岗岩,它与 γ_5^{-1} 为穿插关系,主要分布在岩体的中部;形成含辉钼矿、绿柱石的黑钨矿石英脉。

第三期花岗岩 γ_5^{-3} ,中细粒斑状黑云母花岗岩,绝对年龄为169Ma,仍属燕山早期活动产物;与 γ_5^{-2} 为穿插关系,主要分布在岩体的东侧;形成黑钨矿石英脉。

第四期花岗岩 γ_5^{-4} ,中细粒白云母花岗岩,又分为三个阶段:第一阶段形成含锡石、硫化物的黑钨矿石英脉,第二阶段形成含大量硫化物的黑钨矿石英脉,第三阶段为碳酸盐阶段。

2 样品描述及分析方法

矿石样品主要采自矿区的杨梅岭、和尚滩等处,样品共计76件,均属第二期花岗岩侵入阶段形成的矿物,包括矿区的第1、2、10、16、19、21、23和25等8个中段(标高分别为1540m、1340m、1000m、820m、710m、630m、610m和590m)(图2)。矿石类型发育齐全,包括蚀变岩、石英脉型矿石(图3A,B,C)和夕卡岩型矿石(图3D)。从中挑选了代表性样品24件,磨制包体片共计31个,其中石英24个,石英晶簇2个,萤石3个,石榴石2个。

对主要矿物石英、萤石和石榴石中的流体包裹体进行了显微测温 and 激光拉曼探针成分分析。包裹体显微测温采用LINKAM-TMS94/1500型冷热台,仪器测定温度范围在-196℃~+600℃,冷冻数据和均一温度数据精度均为±0.1℃。激光拉曼探针分析在英国Renishaw in Via Reflex型显微共聚焦激光拉曼光谱仪上进行,对石英和石榴子石中的近50个流体包裹体的气泡进行了扫描,波段范围包括H₂O、CO₂、CO、H₂S、SO₂、N₂、H₂、CH₄、C₂H₂、C₂H₄、C₄H₆、C₂H₆的特征拉曼峰位置。两项测试均在中国科学院地球化

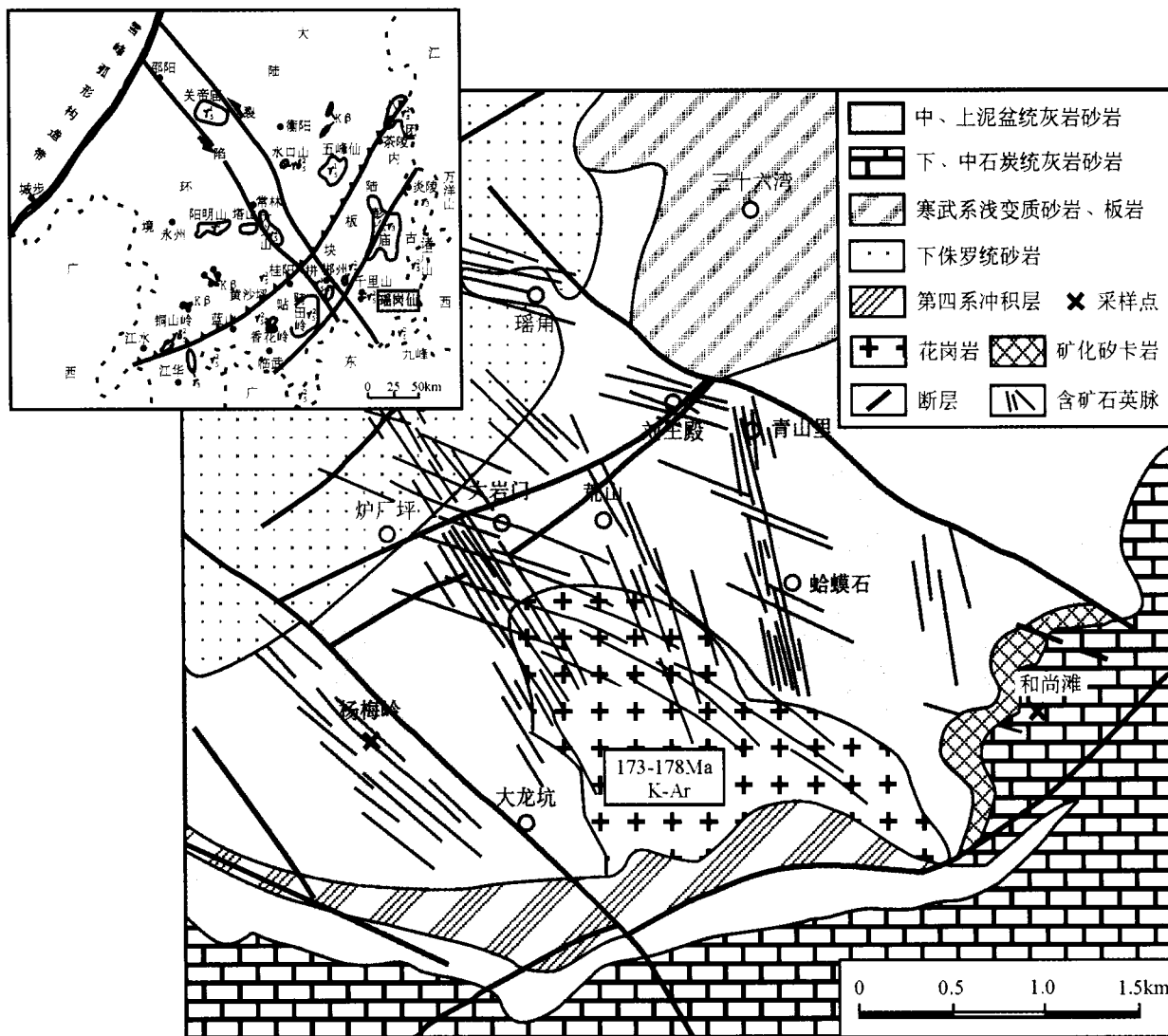


图1 瑶岗仙钨矿床地质构造图 (据车勤建等,2005; Peng et al., 2006 修改)

Fig.1 The tectonic map of Yaogangxian tungsten deposit

学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成。

3 流体包裹体

3.1 流体包裹体岩相学特征

包裹体岩相学特征在显微镜下对双面抛光的薄片观察得到。观察发现,在石英中含有大量的流体包裹体,其次为萤石和石榴石。包裹体类型多为具定向分布的次生或假次生包裹体(图 4a, b, c, d),占 90% 以上,形态多为椭圆状、纺锤状、不规则形,大小在几微米到几十微米(其中约 50% 在 6 ~ 10 μm ,少数达到 10 ~ 30 μm ,最大可达 150 μm),气液比 10% ~ 40%。根据室温条件下和均一状态时流体包裹体的相态特征可以分为以下几类:

I 类为富液相包裹体,由气相和液相组成,气相充填度在 10% ~ 40%,是瑶岗仙矿床中最发育的流体包裹体(图 4a, c, e)。加热后均一为液相,少数临界均一。

II 类为富气相包裹体,由气相和液相组成,气体充填度在 80% 以上,主要在结晶完好的石英晶簇中(图 4b),加热后均一为气相。

III 类为含子矿物多相包裹体,由气相、液相和子矿物组成,在夕卡岩石的榴子石中最为发育,有时一个包裹体可以含有多个子矿物(图 4d, f)。子矿物以透明矿物为主,且主要为方解石,还有碳酸盐和铍铝硅酸盐等。加热时大部分包裹体气泡先消失,400 $^{\circ}\text{C}$ 以上子晶均未融化。

IV 类为纯液相包裹体,充填在局部裂隙中,发育少且个体较小,多呈椭圆状。由于其为后期次生包裹体,与成矿关系不密切,故未对其作进一步测试。

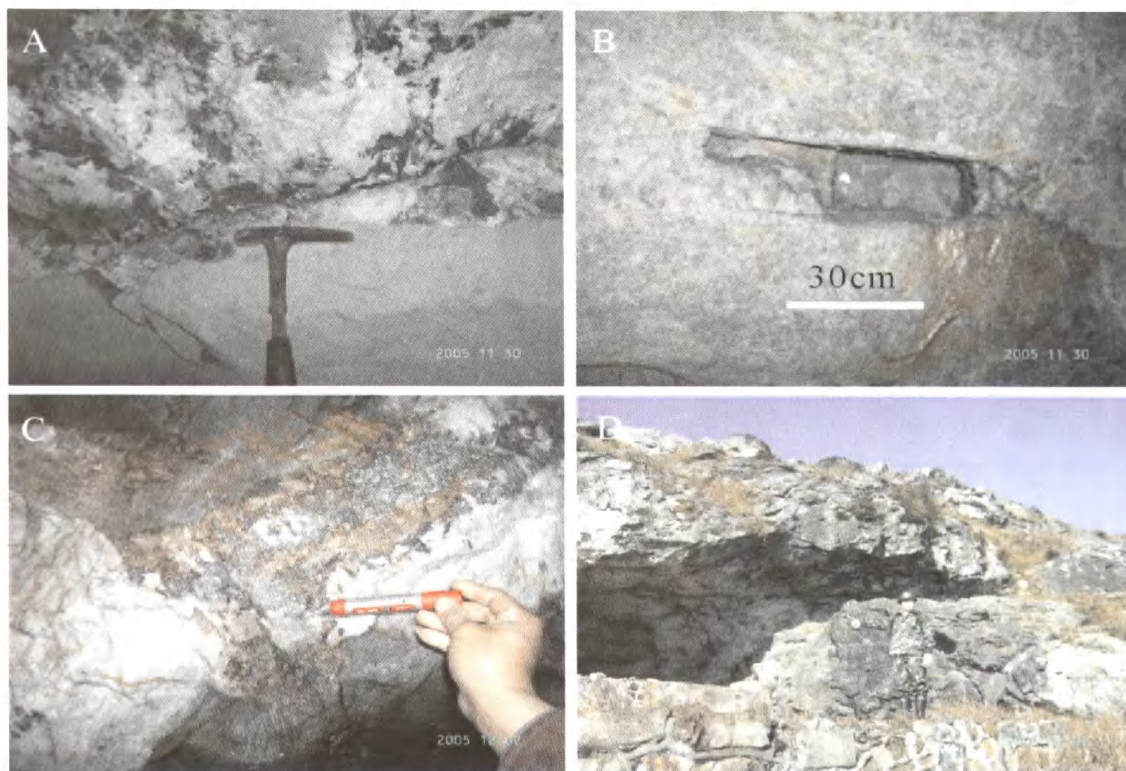


图2 瑶岗仙钨矿的野外产出状态

A-黑钨矿石英巨脉; B-石英脉中的晶洞; C-与围岩接触的黑钨矿石英大脉; D-海拔1540m的顶层矿体

Fig. 2 The outcrop and characteristics of Yaogangxian tungsten deposit

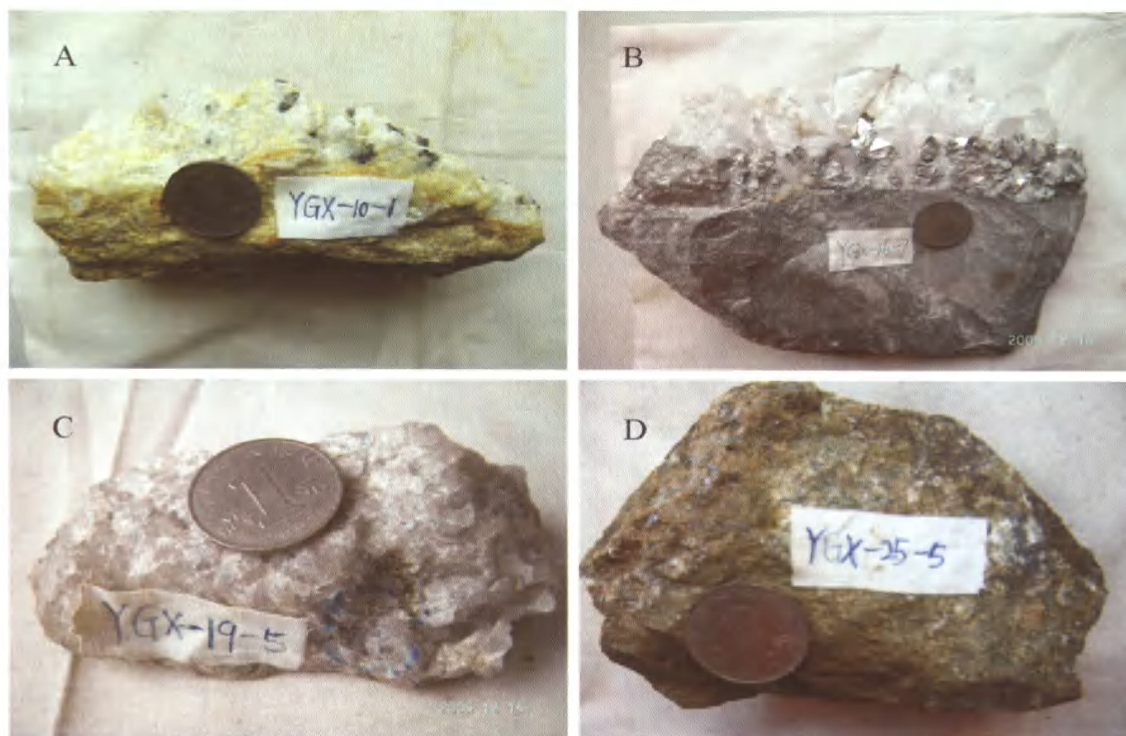


图3 本次研究采集的瑶岗仙钨矿的样品照片

Fig. 3 Photographs of samples from Yaogangxian tungsten deposit

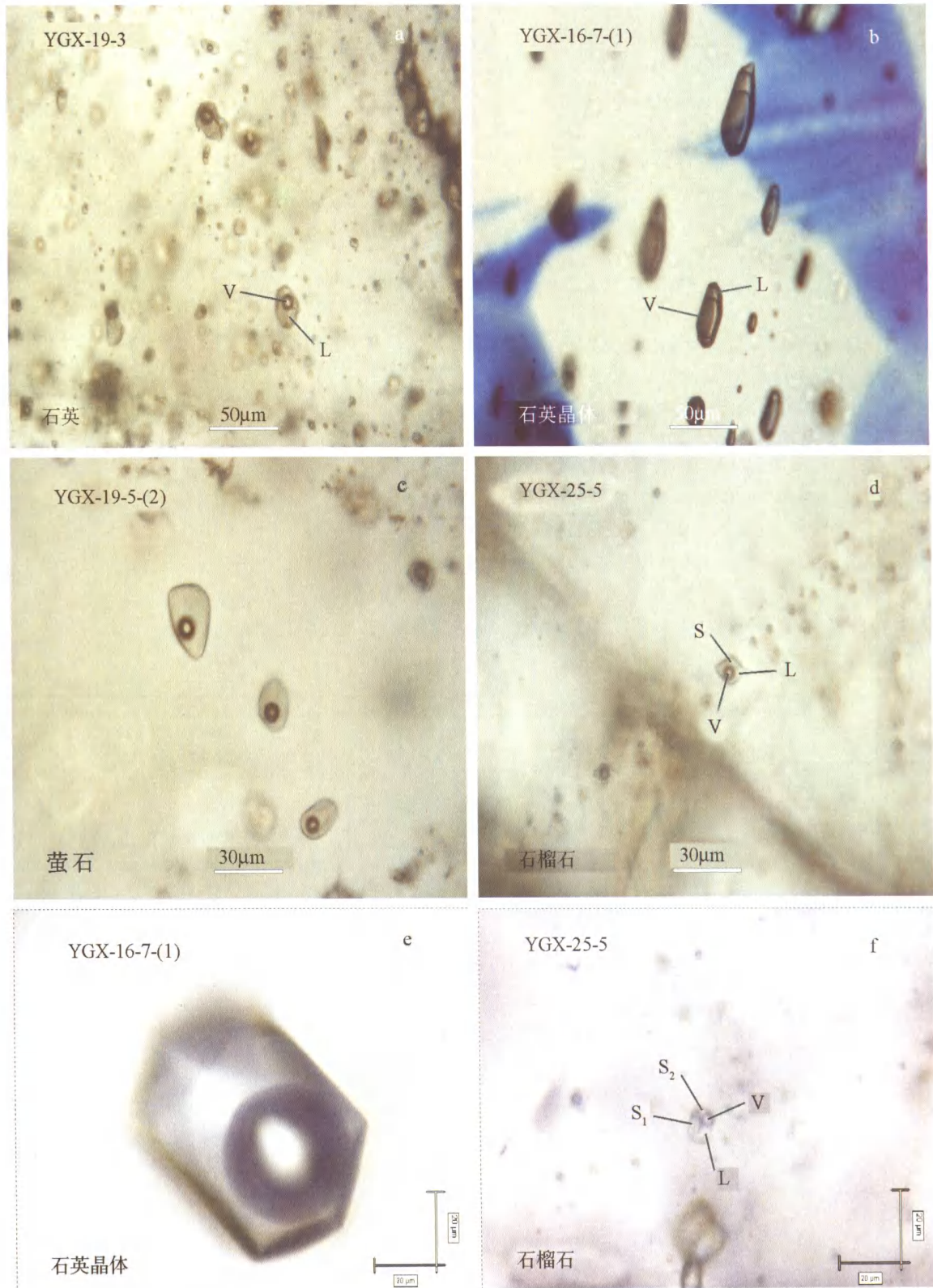


图4 瑶岗仙钨矿流体包裹体照片

a-石英中的富液相包裹体；b-石英晶簇中的富气相包裹体；c-萤石中的富液相包裹体；d-石榴子石中含子晶的多相包裹体，S-方解石；e-石英晶簇富液相包裹体；f-石榴子石中含子晶的多相包裹体，S₁-Be₃Al₂Si₆O₁₈，S₂-方解石(子晶成分由激光拉曼探针测定)

Fig. 4 Photographs of the fluid inclusions from Yaogangxian tungsten deposit

3.2 流体包裹体显微测温 and 盐度

利用均一法和冷冻法分别对脉型钨矿的石英、萤石和夕卡岩型钨矿的石榴石包裹体进行显微测温。石英中气液相 NaCl-H₂O 型包裹体的均一温度范围为 180℃ ~ 300℃, 平均温度 240℃ (图 5A); 冰点 -0.5℃ ~ -4℃, 盐度 0.88% ~ 6.45% NaCl (图 5B); 均一温度高者其盐度有增大的趋势 (图 6)。对萤石中包裹体测温结果, 均一温度范围 170℃ ~ 350℃, 集中在 180℃ ~ 210℃; 冰点 -0.4℃ ~ 0.6℃, 盐度 0.1% ~ 0.7NaCl eqv%, 这与石英包裹体的均一温度和盐度的范围大致吻合。

石榴石中多子晶包裹体测温结果表明, 大多数含子晶的包裹体低温冷冻至 -180℃ 气泡未变化, -40.6℃ 左右气泡消失, 未发现 CO₂ 及 CH₄ 水合物, 可能含有 N₂ 或 CO; -4.4℃ 至 -2.2℃ 气泡未变化, 冰点为 -5.8℃ ~ 0.0℃, 盐度为 0.1 ~ 8.95 wt% NaCl eqv (图 7B); 均一温度范围 190℃ ~ 300℃, 集中在 210℃ ~ 250℃ (图 7A); 爆裂温度 370℃, 400℃ 以上子晶均未融化。在盐度-均一温度散点图 (图 8) 上, 同样显示盐度随均一温度的升高有明显增大的趋势。

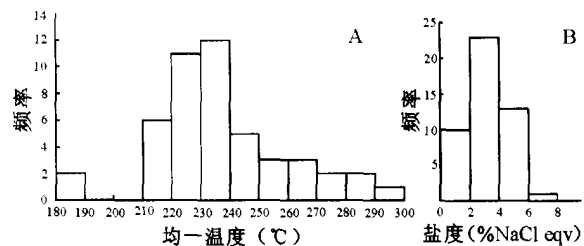


图 5 瑶岗仙脉型钨矿石英流体包裹体均一温度(A)和盐度(B)直方图
Fig. 5 The histogram showing in the homogenization temperature and salinity of the fluid inclusions in quartz from Yaogangxian tungsten deposit

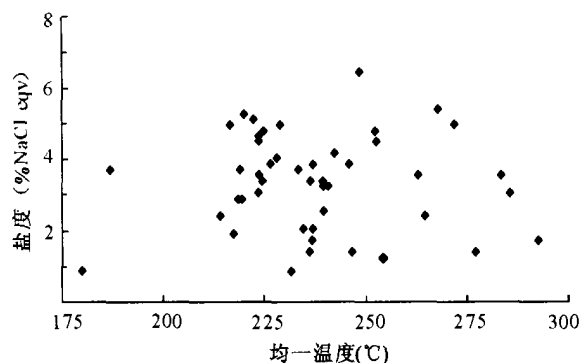


图 6 瑶岗仙脉型钨矿石英流体包裹体均一温度与盐度散点图
Fig. 6 The homogenization-salinity diagram of the fluid inclusions in quartz from Yaogangxian tungsten deposit

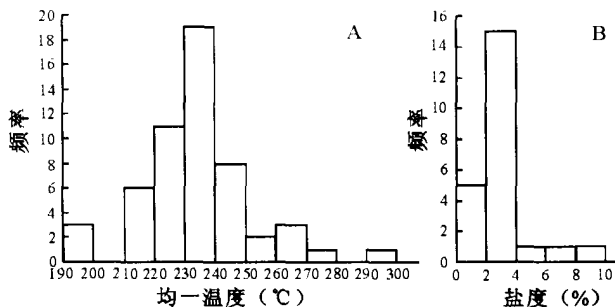


图 7 瑶岗仙夕卡岩型钨矿石榴石流体包裹体均一温度(A)和盐度(B)直方图
Fig. 7 The histogram showing in the homogenization temperature and salinity of the fluid inclusions in garnet from Yaogangxian tungsten deposit

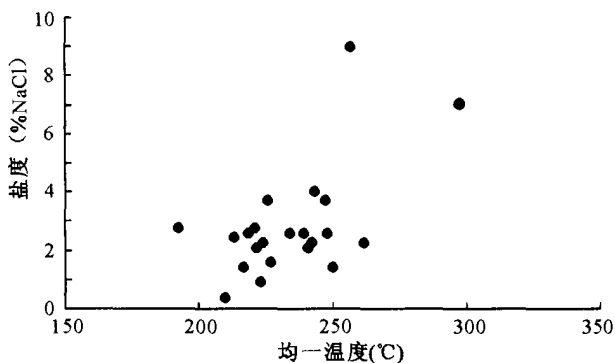


图 8 瑶岗仙夕卡岩型钨矿石榴石流体包裹体均一温度与盐度散点图
Fig. 8 The homogenization-salinity diagram of the fluid inclusions in garnet from Yaogangxian tungsten deposit

由以上特征表明, 瑶岗仙钨矿的成矿流体属于中温、低盐度的流体。石英和石榴石的均一温度、盐度以及两者的关系具有显著的相似性, 这反映了流体的演化特征。

3.3 流体的密度和压力

根据石英和石榴石的均一温度和盐度的范围, 由 NaCl-H₂O 体系的温度-流体密度相图投影, 得到流体的密度范围 0.81 ~ 0.89g/cm³ (图 9)。根据 H₂O 和 CO₂ 体系联合 P-T 图解, 由流体的密度范围和平均温度 240℃, 可以得到成矿压力为 120 ~ 160MPa (图 10), 由此推算成矿深度为 7 ~ 9km, 表明该矿床是在中高压、中深成条件下形成的。

3.4 流体包裹体成分的激光拉曼探针 (LRM) 分析

显微激光拉曼光谱是对单个流体包裹体进行非破坏测定的最为有效的方法 (徐培苍等, 1996; Burke, 2001; Yamamoto et al., 2002)。对流体包裹体及其气泡成分的分析, 可以探测各种成岩和成矿流体以及岩浆的来源和源区组

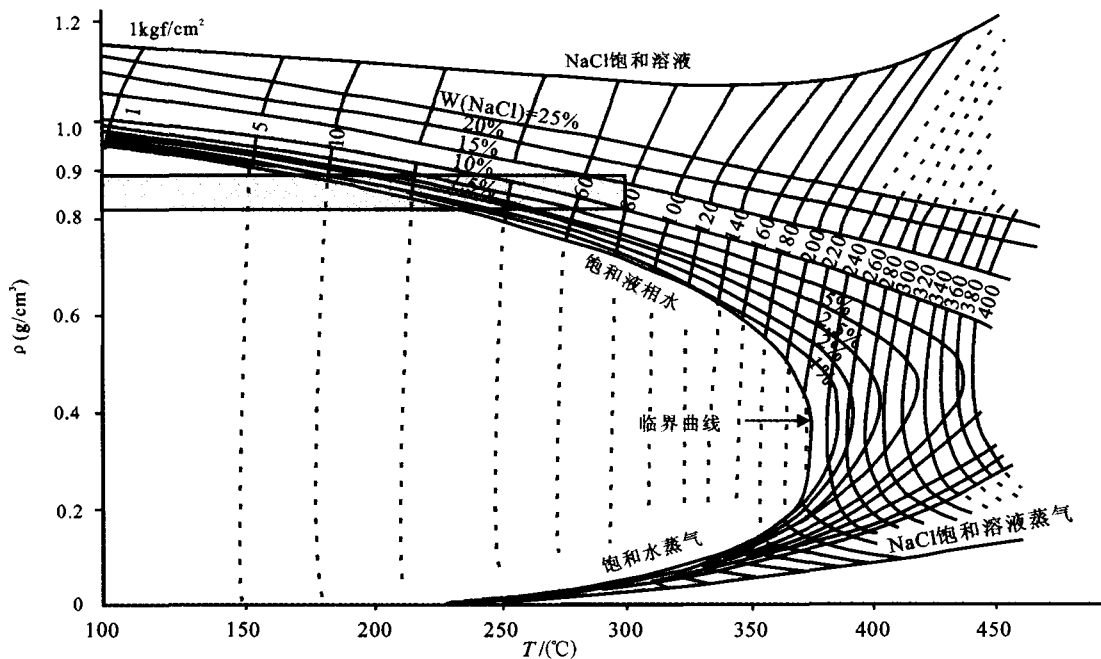


图9 NaCl-H₂O体系温度-流体密度投影图(据 Bischoff, 1991)

Fig. 9 The temperature- density diagram of NaCl-H₂O system (Bischoff, 1991)

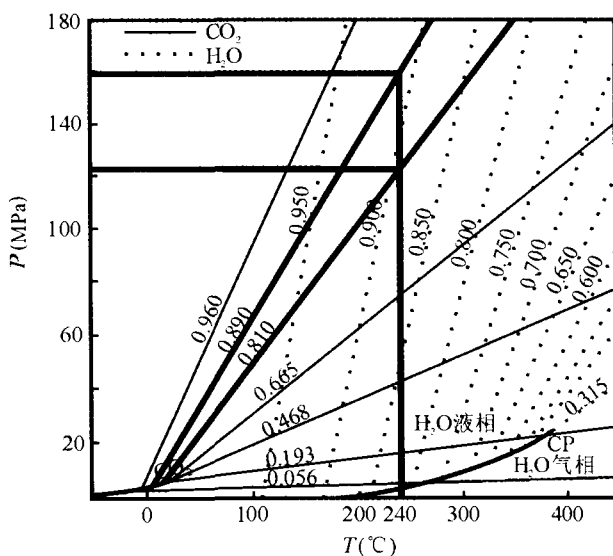


图10 H₂O - CO₂体系联合 P-T 图解(据 Roedder and Bodnar, 1980)

Fig. 10 The pressure -temperature diagram of H₂O- CO₂ system (Roedder and Bodnar, 1980)

成。利用激光对单个包裹体的气、液、固相进行扫描,会产生对应不同成分的特征拉曼峰位置,从而判断其成分(卢焕章等, 2004)。

图11表示石英和石榴石流体包裹体气相和液相成分的代表性拉曼谱图。激光拉曼探针分析表明,石英中富液相包

裹体的气相成分较复杂,显示除 H₂O 外,具有较强的 CO₂、CH₄ 成分特征峰值,弱的 H₂S、N₂ 峰值,没有发现 CO; 其液相成分以 H₂O 为主; 而夕卡岩中石榴石的含子晶多相包裹体中成分较简单,气相和液相的成分均以 H₂O 为主,子晶多为方解石,其次为碳酸盐、硅酸盐等。流体包裹体气相成分可分为以下五类: (1) 富 CO₂ 包裹体(图 11d), 基本由单一的 CO₂ 气体组成, 主要存在于 I 类包裹体; (2) CO₂ + CH₄ 混合气体型(图 11c), 存在于 I 类和 II 类包裹体; (3) CO₂ + H₂O 混合气体型(图 11e), 主要存在于 I 类包裹体; (4) CO₂ + CH₄ + H₂O 多组分混合气体型(图 11a, b), 主要存在于 I 类包裹体; (5) 富 H₂O 包裹体(图 11f), 主要存在于 III 类包裹体。石英和石榴石中流体包裹体的液相成分均以 H₂O 溶液为主(图 11g)。对含子矿物的包裹体的测定显示, 多为方解石(图 11h)。

在上述图谱中, CH₄ 的峰位稳定地分布在 2915 ~ 2918cm⁻¹ 的区间。由此表明, 瑶岗仙钨矿中的石英脉型黑钨矿所携带的流体是一种富 CH₄ 等还原性挥发份的流体, 而夕卡岩型白钨矿所携带的流体是一种富 H₂O 的流体。

4 讨论

成矿流体的成分可以从矿物组合、包裹体特征及激光拉曼光谱测试结果, 做出大致推断。石榴石包裹体的气液相成分均以 H₂O 为主; 而石英包裹体的气相成分较为复杂, 除 H₂O 外, 含有较多的 CO₂ 和 CH₄, 少量的 H₂S、N₂、有机质等成分。由此说明从夕卡岩型白钨矿阶段到石英脉型黑钨矿

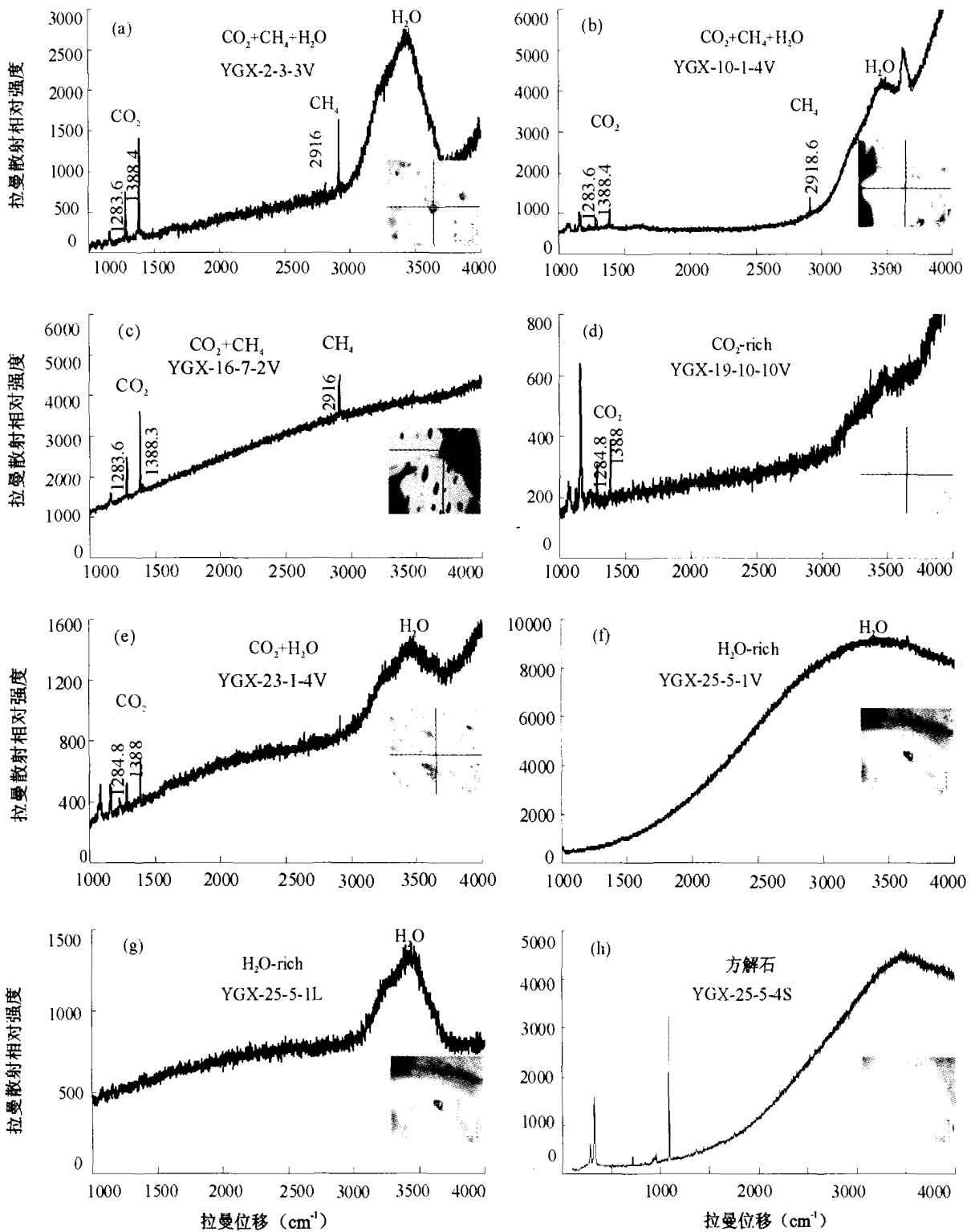


图 11 瑶岗仙钨矿石英和石榴子石的流体包裹体激光拉曼图谱

(a)(b)(d)(e)为石英脉富液相包裹体气相成分,除有机质(约 3600cm^{-1})外,具有强的 CO_2 (1388cm^{-1} , 1284cm^{-1})、 CH_4 (2916cm^{-1})和 H_2O 峰值; (c)为石英脉富气相包裹体气相成分,具有强的 CO_2 (1388cm^{-1} , 1284cm^{-1})、 CH_4 (2916cm^{-1})峰值; (f)(g)(h)分别是辉钼矿夕卡岩中石榴子石含子晶多相包裹体的气相、液相和固相成分,气象和液相主要为 H_2O ,子晶多为方解石

Fig. 11 Laser Raman spectroscopy of the fluid inclusion in quartz and garnet from Yaogangxian tungsten deposit

阶段,成矿流体不断有 CH_4 、 CO_2 和 H_2O 等挥发份的加入。在相同的温度、压力条件下,挥发份更易存留在偏液的流体中。所以,瑶岗仙钨矿的成矿流体是一种介于岩浆与热液之间的过渡性流体,具有上部偏液、下部偏浆的特点。

上已述及,瑶岗仙钨矿的成矿流体具有上部偏液、下部偏浆且具有 C-H 还原性组分的特征。成矿流体为介于岩浆与热液之间的过渡性流体表明,富含多金属元素的岩浆在上涌的过程中,由于其它富水流体的加入使其转化为成矿流体。随着温度、压力的逐渐降低,成矿物质的溶解度不断下降,进而从流体中不断的析出、沉淀、富集,同时伴随有流体盐度的下降。与地壳的环境相比,地幔处在相对还原性的环境,从而适合 CH_4 及其它短链烃类物质的存在(杜乐天, 1989)。上地幔中的挥发份以 CO_2 为主(Giggenbach, 1997; Lowenstern, 2001),而是否存在富含甲烷的流体尚有争议。80 年代,国外部分学者推测地球深部可能存在大量的有机烃,并将其作为石油非生物成因的来源(Giardini and Bodnar, 1982; Hall and Bodnar, 1988); 已有研究证实地幔过渡带和软流圈存在未被氧化的、含 C-H 系列流体(苏犁等,1999; 潘小菲和刘伟,2005)。瑶岗仙钨矿床分布于长期拉张裂隙的构造环境中(华仁民等,2003; 邱先前和刘阳生,2003; 车勤建等,2005),并且燕山期以来本区软流圈上隆,岩石圈经历了强烈的伸展、减薄作用,辉长岩、橄榄拉斑玄武岩等基性-超基性发生底侵作用(夏宏远和梁书兰,1991; 马东升,1997),这便为瑶岗仙钨矿的原始成矿流体的来源提供了构造背景。在流体上升的过程中,由于上部氧化条件的加强,部分还原性挥发份发生氧化作用转化为 H_2O 和 CO_2 , 但这不足以补充流体中 H_2O 的含量,地壳流体的介入便成为可能,这也与成矿流体上部偏液、下部偏浆的特征相一致。瑶岗仙钨矿区与柿竹园矿区(图 1)同属于南岭东西向复杂地幔构造带,均为燕山早期岩浆活动的产物,具有相似的构造背景和成矿特征(莫柱荪,1985; 宋学信和张景凯,1990; 赵振华等,2000; 黄革非等,2001; 彭建堂和胡瑞忠,2001; 车勤建等,2005)。已有研究表明,柿竹园超大型钨多金属矿床是在壳幔相互作用的背景下形成的(赵振华等,2000; Zhou and Li, 2000; 马铁球等,2005)。因此,瑶岗仙钨矿的原始成矿流体很可能来自于深部的地幔过渡带或者软流圈,流体在运移过程中,由于变质事件使其发生了弱氧化作用并有地壳物质的加入,粘稠的流体逐渐变稀,形成了上部偏液,下部偏浆的特征。

5 结论

(1)包裹体测温结果表明,瑶岗仙成矿流体属于中温、低盐度流体;密度为 $0.81 \sim 0.89\text{g}/\text{cm}^3$,成矿压力为 $120 \sim 160\text{MPa}$,成矿深度约 $7 \sim 9\text{km}$ 左右,该矿床是在中高压、中深成条件下形成的。

(2)激光拉曼探针测试表明,从夕卡岩型白钨矿阶段到

石英脉型黑钨矿阶段,成矿流体不断有 CH_4 、 CO_2 和 H_2O 等挥发份的加入,此时的流体是一种介于岩浆与热液之间的过渡性流体,具有上部偏液、下部偏浆的特点。

(3) CH_4 等还原组分的增多,推测有可能来自相对是还原环境的地幔过渡带或软流圈中。

致谢 在野外工作中湖南瑶岗仙钨矿喻平和何小平工程师给与大力帮助;室内样品分析测试得到秦朝建助理研究员的指导以及田建吉、陈兰等学长的帮助;中科院地质与地球物理研究所范宏瑞研究员审阅此稿并提出了宝贵意见,特此致谢!

References

- Alfons M, Vanden K and Ulrich FH. 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55: 27 - 47
- Bai DY, Chen JC, Ma TQ *et al.* 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(8): 254 - 271 (in Chinese with English abstract)
- Bischoff JL. 1991. Densities of liquids and vapors in boiling NaCl- H_2O solutions: A PVTX summary from 300 to 500 °C. *American Journal of Science*, 291: 309 - 338
- Burke EAJ. 2001. Raman microspectrometry of fluid inclusions. *Lithos*, 55: 139 - 158
- Che QJ, Li JD, Wei SL *et al.* 2005. Elementary discussion on the tectonic background of deposit-concentrated Qianlishan-Qitianling area in Hunan. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(2): 204 - 214 (in Chinese with English abstract)
- Chen YR. 1981. Geological characteristics and symbols of Yaogangxian tungsten deposit. *Geology and Exploration*, (2): 25 - 30 (in Chinese)
- Chen YR. 1988. Geochemical characteristics and mineralization of Yaogangxian granite. *Mineral Deposits and Geology*, 1: 22 - 28 (in Chinese)
- Chen YR. 1992. Vein constraints and analysis of ore-forming conditions of Yaogangxian deposit. *Geology of Hunan*, 11(4): 285 - 293 (in Chinese with English)
- Chen YR. 1995. Characteristics and significance of quartz druse in Yaogangxian tungsten deposit. *Geology of Hunan*, 14(4): 226 - 234 (in Chinese with English)
- Du LT. 1989. The great significance of ACOHNS fluid. *Geotectonica et Metallogenia*, 13: 91 - 99 (in Chinese)
- Fan HR, Jin CW and Sheng YC. 1998. Ore-forming fluid geochemistry of the Hatu Gold Deposit in Xinjiang, Northwest China. *Mineral Deposits*, 17(2): 135 - 149 (in Chinese with English abstract)
- Fan HR, Xie YH, Zhai MG *et al.* 2003. A three stage fluid flow model for Xiaqingling lode gold metallogenesis in the Henan and Shanxi province, central China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 260 - 266 (in Chinese with English abstract)
- Fu JM, Xie CF, Peng SB *et al.* 2006. Geochemistry and Crust-Mantle Magmatic Mixing of the Qitianling Granites and their Dark Microgranular enclaves in Hunan Province. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(6): 557 - 569 (in Chinese with English abstract)
- Giardini A, Melton C and Mitchell R. 1982. The nature of the upper 400km of the Earth and its potential as the source for non-biogenic petroleum. *Journal of Petrology*, 5: 173 - 190
- Giggenbach WF. 1997. The origin and evolution of fluids in magmatic-

- hydrothermal systems. In: Barnes HL (ed). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd edn. Wiley, New York, 737 - 796
- Hall DL and Bodnar RJ. 1988. Methane in fluid inclusions from granulites: A product of hydrogen diffusion? *Eochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 641 - 651
- Hua RM, Chen PR, Zhang WL *et al.* 2003. Ore deposits formation system related to granites in Mesozoic and Cenozoic, south China. *China Sciences(D)*, 33(4): 335 - 343 (in Chinese)
- Huang GF, Zeng QW, Wei SL *et al.* 2001. Geological traits and analysis of vein-controlling factors of Furong stannum deposits in Qitianling, Hunan province. *China Geology*, 28(10): 30 - 34 (in Chinese with English abstract)
- Jia Y, Li X and Kerrich R. 2000. A fluid inclusion study of Au-bearing quartz vein systems in the central and north Deborah deposits of the Bendigo gold field, central Victoria, Australia. *Economic Geology*, 95: 467 - 494
- Lin XD, Zhang DH and Zhang CL. 1986. A discussion on the property of ore-forming fluid of the wolframite quartz-vein in the Yaogangxian tungsten deposit, Yizhang county, Hunan province. *Earth Science-Journal of Wuhan College of Geology*, 11(2): 153 - 160 (in Chinese with English abstract)
- Liu YM, Wang CL, Xu YZ *et al.* 1998. Conditions and mode of deposits formation of large-scale tungsten multi-metal deposits in Shizhuyuan. *China Sciences*, 28(supplement): 49 - 56 (in Chinese with English abstract)
- Lowenstern JB. 2001. Carbon dioxide in magmas and implications for hydrothermal systems. *Mineralium Deposita*, 36: 490 - 502
- Lu HZ. 1986. Cause of tungsten deposit formation in south China. Chongqing: Chongqing Press (in Chinese)
- Lu HZ, Guha J and Fang GB. 1999. Characteristics of ore-forming fluid in gold deposit in Linglong, Shandong province. *Geochemistry*, 28(5): 421 - 436 (in Chinese with English abstract)
- Lu HZ, Fan HR, Ni P *et al.* 2004. *Fluid Inclusion*. Beijing: Sciences Press (in Chinese)
- Lu HZ, Liu YM, Wang CL *et al.* 2003. Mineralization and fluid inclusion study of the Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn deposit, Hunan Province, China. *Econ. Geol.*, 98: 955 - 974
- Ma DS. 1997. deposits formation because of large-scale fluid movements in crust and Geochemical tracemnt - take the geochemical study of medium-low hot liquid deposit in Jiangnan region for example. *Journal of Nanjing University*, 33: 1 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Ma TQ, Wu CY, Jia BH *et al.* 2005. Middle-late Jurassic granite magma-mixing in the middle segment of the Nanling Mountains, South China: Evidence from mafic microgranular enclaves. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 506 - 512 (in Chinese)
- Mao JW. 1997. Formaiton Particularity of large-scale tungsten multi-metal deposits-take Shizhuyuan deposit for example. *Geology Sciences*, 32(3): 351 - 361 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Li HY and Pei RF. 1995. Geochemistry and connection of deposits formation of granites in Qianlishan. *Mineral Deposits*, 14(1): 12 - 23 (in Chinese with English abstract)
- Mo ZS. 1985. Categories of geological environment of granites in Nanling. *Textonics and Minerals*, 9(1): 1 - 8 (in Chinese)
- Ni JW. 1994. Research on fluid inclusion and ore-forming liquid characters of Yaogangxian tungsten deposit. *Journal of Zhejiang University*. 28(1): 73 - 80 (in Chinese)
- Pan XF and Liu W. 2005. Characteristics and significance of CH₄-rich fluid inclusions from the mafic-ultramafic complex at the Xiangshan, eastern Tianshan Moutains, Xinjiang of China. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 211 - 218 (in Chinese with English abstract)
- Parnell J, Earls G, Wilkinson JJ *et al.* 2000. Regional fluid flow and gold mineralization in the Dalradian of the Sperrin Mountains, northern Ireland. *Economic Geology*, 95: 1350 - 1416
- Peng JT and Hu RZ. 2001. Metallogenic epoch and metallogenic tectonic environment of antimony deposits, south China. *Geology-Geochemistry*, 29(3): 104 - 108 (in Chinese with English abstract)
- Peng JT, Zhou MF, Hu RZ *et al.* 2006. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China. *Mineralium Deposita*, 41: 661 - 669
- Roedder E and Bodnor RJ. 1980. Geologic pressure determined from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, (8): 263 - 301
- Qiu XQ and Liu YS. 2003. Characteristics of the Chenzhou-Shaoyang strike-slip tectonomagmatic belt and it's ore-controlling significance, Hunan. *Geology and Mineral Resources of South China*, 4: 56 - 59 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Li YQ, Wang LS *et al.* 2003. Approach to Ore-Forming Conditions in Light of Ore Fluid Inclusions. *Mineral Deposits*, 22(1): 13 - 23 (in Chinese with English abstract)
- Smith MP and Henderson P. 2000. Preliminary fluid inclusion constraints on fluid evolution in the Bayan Obo Fe-REE-Nb deposit, Inner Mongolia, China. *Economic Geology*, 95: 1371 - 1388
- Song XX and Zhang JK. 1990. Study on fluid inclusions of tungsten, stannum, molybdenum, bismuth deposits of Shizhuyuan-Yejiwei. *Mineral Deposits*: 9(4): 332 - 338 (in Chinese)
- Special Team on Nanling Tungsten Deposits of Metallurgy Department. 1985. tungsten deposit in south China. Beijing: Metallurgy Industry Press (in Chinese)
- Su L, Song SC and Wang ZH. 1999. Characteristics and significance of CH₄-rich fluid inclusions from the peridotite in Yushigou, northern Qilian Moutains. *Chinese Science Bulletin*, 44(8): 855 - 858 (in Chinese)
- Wang CL, Luo SH, Xu YZ *et al.* 1987. *Mineral deposits of tungsten multi-metal of Shizhuyuan*. Beijing: Geology Publishing House (in Chinese)
- Wilkinson JJ. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Pub Lithos*, 55: 229 - 272
- Xia HY and Liang SY. 1991. Series of tungsten, stannum and REE granic deposits formation in south China. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Xu PC, Li RB, Wang YQ *et al.* 1996. Raman Spectroscopy in Geosciences. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press (in Chinese with English abstract)
- Yamamoto J, Kagi H, Kaneoka I *et al.* 2002. Fossil pressures of fluid inclusions in mantle xenoliths exhibiting rheology of mantle minerals: implications for the geobarometry of mantle minerals using micro-Raman spectroscopy. *Earth and Planetary Science Letters*, 198: 511 - 519
- Yuan ZX and Zhang ZQ. 1992. Characteristic of Sm-Nd isotope and discussion of minerals formation of granites in Nanling, south China. *Geological Review*, 38(1): 1 - 15 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Bao ZW and Zhang BY. 2000. The background of Crust-Mantle interaction in super tungsten deposit in Shizhuyuan. *Science in China*, 30(supp.): 161 - 168 (in Chinese)
- Zhou BS, Zhang GH, Gong SQ *et al.* 2002. Characteristics of geochemical anomalies and ore-search prospects in the Yaogangxian ore field, hunan province. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 26(6): 432 - 438 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XM and Li WX. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implication for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326: 269 - 287
- Zhu JC, Huang GF, Zhang PH *et al.* 2003. On the emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling Pluton, south Hunan province. *Geological Review*, 49(3): 245 -

252 (in Chinese with English abstract)

Zhu YL. 1981. The main metallogenesis characteristics of tungsten deposit in south of Jiangxi, China. In: The international discussion assemblage on tungsten deposit. Beijing: Geology Publishing House (in Chinese)

附中文参考文献

柏道远, 陈建超, 马铁球等. 2005. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境. 岩石矿物学杂志, 24(4): 254-271

车勤建, 李金冬, 魏绍六等. 2005. 湖南千里山-骑田岭矿集区形成的构造背景初探大地构造与成矿学, 29(2): 204-214

陈依壤. 1981. 瑶岗仙脉钨矿床地质特征与找矿标志. 地质与勘探, (2): 25-30

陈依壤. 1988. 瑶岗仙花岗岩地质地球化学特征与成岩成矿作用. 矿产与地质, 1: 22-28

陈依壤. 1992. 瑶岗仙矿田控矿因素及成矿条件分析. 湖南地质, 11(4): 285-293

陈依壤. 1995. 瑶岗仙钨矿床的晶洞特征及其研究意义. 湖南地质, 14(4): 226-234

杜乐天. 1989. 幔汁 (ACOHNS) 流体的重大意义. 大地构造与成矿学, 13: 91-99

范宏瑞, 金成伟, 沈远超. 1998. 新疆哈图金矿成矿流体地球化学. 矿床地质, 17(2): 135-149

范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国等. 2003. 豫陕小秦岭脉状金矿床三期流体运移成矿作用. 岩石学报, 19(2): 260-266

付建明, 谢才富, 彭松柏等. 2006. 湖南骑田岭花岗岩及其暗色微粒包裹体的地球化学与壳幔岩浆的混合作用. 地球学报, 27(6): 557-569

华仁民, 陈培荣, 张文兰等. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统. 中国科学(D), 33(4): 335-343

黄革非, 龚述清, 蒋希伟等. 2003. 湘南骑田岭锡矿成矿规律探讨. 地质通报, 22(6): 445-451

林新多, 张德会, 章传玲. 1986. 湖南宜章瑶岗仙黑钨矿石英脉成矿流体性质的探讨. 地球科学(武汉地质学院学报), 11(2): 153-160

刘德镒. 1994. 湖南瑶岗仙钨矿中石英的标型特征. 矿物学报, 14(1): 74-82

刘义茂, 王昌烈, 胥友志等. 1998. 柿竹园超大型钨多金属矿床的成矿条件与成矿模式. 中国科学, 28(增刊): 49-56

卢焕章. 1986. 华南钨矿成因. 重庆: 重庆出版社

卢焕章, 范宏瑞, 倪陪等. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社, 147-274

卢焕章, Guha J, 方根保. 1999. 山东玲珑金矿的成矿流体特征. 地球化学, 28(5): 421-436

马东升. 1997. 地壳中大规模流体运移的成矿现象和地球化学示踪: 以江南地区中-低温热液矿床的地球化学研究为例. 南京大学学报, 33: 1-10

马铁球, 伍光英, 贾宝华等. 2005. 南岭中段郴州一带中、晚侏罗世花岗岩浆的混合作用-来自镁铁质微粒包体的证据. 地质通报, 24(6): 506-512

毛景文. 1997. 超大型钨多金属矿床成矿特殊性: 以湖南柿竹园矿床为例. 地质科学, 32(3): 351-361

毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995. 千里山花岗岩地质地球化学及成矿关系. 矿床地质, 14(1): 12-23

莫柱芬. 1985. 试论南岭花岗岩的地质环境分类. 大地构造与成矿学, 9(1): 1-8

倪纪文. 1994. 瑶岗仙钨矿床包体研究及成矿溶液特征的探讨. 浙江大学学报, 28(1): 73-80

潘小菲, 刘伟. 2005. 东天山香山镁铁-超镁铁岩中富 CH_4 流体包裹体的特征及其意义. 岩石学报, 21(1): 211-218

彭建堂, 胡瑞忠. 2001. 华南铋矿带的成矿时代和成矿构造背景. 地质地球化学, 29(3): 104-108

邱先前, 刘阳生. 2003. 湖南郴州-邵阳走滑型构造岩浆岩带及其控矿意义. 华南地质与矿产, 4: 56-59

芮宗瑶, 李荫清, 王龙生等. 2003. 从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件. 矿床地质, 22(1): 13-23

宋学信, 张景凯. 1990. 柿竹园-野鸡尾钨锡钼铋多金属矿床流体包裹体初步研究. 矿床地质, 9(4): 332-338

苏犁, 宋述光, 王志海. 1999. 北祁连山玉石沟地幔橄辉岩中富 CH_4 流体包裹体及其意义. 科学通报, 44(8): 855-858

王昌烈, 罗仕徽, 胥友志等. 1987. 柿竹园钨多金属矿床地质. 北京: 地质出版社

夏宏远, 梁书艺. 1991. 华南钨锡稀有金属花岗岩矿床成因系列. 北京: 科学出版社

徐培苍, 李如璧, 王永强等. 1996. 地学中的拉曼光谱. 西安: 陕西科学技术出版社, 78

冶金部南岭钨矿专题组. 1985. 华南钨矿. 北京: 冶金工业出版社

袁中信, 张宗清. 1992. 南岭花岗岩类岩石 Sm-Nd 同位素特征及岩石成因探讨. 地质论评, 38(1): 1-15

赵振华, 包志伟, 张伯友等. 2000. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的壳幔相互作用背景. 中国科学, 30(增刊): 161-168

周柏生, 张国华, 龚述清等. 2002. 湖南瑶岗仙矿田化探异常特征及找矿前景. 物探与化探, 26(6): 432-438

朱金初, 黄革非, 张佩华等. 2003. 湖南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵入年龄和物质来源研究. 地质论评, 49(3): 245-252

朱焱龄. 1981. 江西南部脉钨矿床主要矿化特征. 见: 国际钨矿地质讨论会论文集. 北京: 地质出版社