

广西油麻坡钨钼矿床流体包裹体与成因探讨

张文兵,蔡明海,李强,薛彦萍,刘翔,郑浩

(广西大学资源与冶金学院,广西 南宁 530004)

摘要:油麻坡钨钼矿床是桂东南博白-岑溪 W-Mo-Pb-Zn-Au-Ag 成矿带内新近评价的一个大型矽卡岩型矿床,矿体产于泥盆系下统矽卡岩中。将成矿划分为干矽卡岩阶段(Ⅰ)、湿矽卡岩阶段(Ⅱ)、石英-硫化物阶段(Ⅲ)和碳酸盐-萤石阶段(Ⅳ),其中,Ⅱ和Ⅲ为主成矿阶段。为探究成矿作用中成矿流体特征,采用流体包裹体显微测温对主成矿阶段流体的性质进行了研究。研究表明,Ⅱ阶段即湿矽卡岩阶段流体包裹体均一温度主要集中于 280~340℃,盐度主要集中于 3.33%~5.94%;Ⅲ阶段即石英-硫化物阶段流体包裹体均一温度主要集中于 260~320℃,盐度主要集中于 5.05%~9.99%。成矿流体以中高温、低盐度为特征。成矿过程中流体发生过沸腾和混合作用。区内成矿与燕山晚期油麻坡岩体有关,属中高温岩浆热液交代-充填型矿床。

关键词:流体包裹体;矿床成因;油麻坡钨钼矿床;广西博白

中图分类号:P618.67;P618.65

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2017)02-0178-13

Fluid Inclusion Study and Genesis of the Youmapo W-Mo Deposit in Guangxi Province

ZHANG Wenbing, CAI Minghai, LI Qiang, XUE Yanping, LIU Xiang, ZHANG Hao

(College of Resource and Metallurgy, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: Occurred in the Lower Devonian skarn, the Youmapo tungsten-molybdenum deposit is a large-size recently evaluated skarn type deposit in the Bobai-Cenxi W-Mo-Pb-Sn-Au-Ag metallogenic belt, southeast Guangxi. Four stages of skarn-type ores have been distinguished, i. e., Stage I-dry skarn stage, Stage II-wet skarn stage, Stage III-quartz and sulfide stage, and Stage IV-carbonate and fluorite stage. In addition, the Stage II and the Stage III are main metallogenic stages. In order to explore the characteristics of ore-forming fluid in mineralization, the microthermometry of fluid inclusions has been used to research the nature of the ore-forming fluids in the main ore-forming stage. Results indicate that the homogenization temperatures of the fluid inclusions in stage II and III mainly vary from 280 to 340℃ and from 260 to 320℃, whereas their salinities mainly range from 3.33% to 5.94% and from 5.05% to 9.99%, respectively. The ore-forming fluid in this deposit has the characteristics of medium to high homogenization temperatures and low salinity. Boiling and mixing have occurred during the mineralization. The ore deposit is a medium to high magmatic hydrothermal replacement filling type deposit, and the mineralization in the area was related to late Yanshanian Youmapo pluton.

Keywords: fluid inclusions; genesis of ore deposit; Youmapo Tungsten-Molybdenum deposit; Bobai County of Guangxi Zhuang Autonomous Region

收稿日期:2017-01-16;修回日期:2017-02-15

基金项目:广西钨钼典型矿床专题研究、广西壮族自治区钨钼成矿规律研究(桂财建函[2015]118号)

作者简介:张文兵(1991-),男,湖北仙桃人,2014级硕士,地质与资源勘查专业。E-mail:zwbif666@sina.com

位于桂东南的NE向博白-岑溪W-Mo-Pb-Zn-Au-Ag成矿带是广西境内一条重要的有色和贵金属成矿带,前人对带内的佛子冲、东桃等大型铅锌矿和中苏、金山等中-小型金银矿进行了较多研究(毛伟,1995;冯佐海等,1999;杨斌等,2000,2002;雷良奇等,2002;黄惠兰等,2004;李金发等,2004;蔡锦辉等,2007;翟丽娜等,2008;刘贤才,2011;韦龙明等,2012;付伟等,2013),钨钼矿则由于规模有限并没引起足够重视。近年来,带内的钨钼找矿取得了突破,通过对油麻坡、三叉冲等老矿床重新勘查,可知其规模均达到大型且深边部找矿前景良好,因而地质工作者们又掀起了带内新一轮钨钼矿的找矿和科研高潮。

油麻坡钨钼矿床是带内目前所发现的规模最大(WO_3 资源量 >8 万t)、且最具代表性的一个矽卡岩型矿床,矿区勘查工作尚在进行中。付强等(2010)、杨拓(2013)对矿床的地质特征进行了报道;王炯辉等(2014)开展了矿区花岗质岩石的地球化学、Sm-Nd同位素及锆石U-Pb测年研究;付强等(2014)对代表性钨钼矿石样品进行了C、H、O、S同位素测定,并对其中的石英脉型辉钼矿矿石内的石英进行了包裹体的初步研究;冯定素等(2016)则对区内不同岩性花岗质岩石进行了系统测年。笔者在详细矿相学研究基础上,系统开展了不同成矿阶段成矿流体特征研究,并结合前人资料初步探讨了矿床成因,以期深化区内矿床成因认识,对区内找矿提供指导。

1 区域成矿地质背景

油麻坡钨钼矿床位于NE向博白-岑溪断裂带内,大地构造位置属武夷-云开弧盆系(Ⅱ级)、云开岛弧(Ⅲ)、博白-岑溪弧后盆地(Ⅳ级)。

区域地层主要有前寒武系云开群和古生界奥陶系、志留系、泥盆系等。其中,云开群为一套绿片岩相浅变质岩系夹火山岩,岩性为云母石英片岩,石英云母片岩夹大理岩(矽卡岩)和钙质泥岩等;奥陶系、志留系和下泥盆统岩性组合为云母石英片岩、石英片岩、白云片岩,以及少量矽卡岩等;中泥盆统为轻度变质的泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹变质粉砂岩。区域地层中,奥陶系和泥盆系是钨钼矿主要赋矿层位。

区域褶皱不发育,多表现为单斜构造。区域性的NE向博白-岑溪断裂带属钦杭结合带南段(广西段)的一条重要的边界断裂(周永章等,2015),该断裂带以NE向那车垌-莲都大断裂为骨干,具多期次活动特点,主要由形成于志留纪的NEE向断裂、形成于泥盆纪的NE向断裂和形成于白垩纪的NE向、NNE向断裂,通过利用、抑制、改造等反复接合而成,是桂东南一条重要的控岩、控矿构造(罗璋,1990)。

区域岩浆活动以加里东期和燕山期为主,形成了数个大致沿博白-岑溪断裂带呈NE向展布的花岗质复式侵入体,从北东到南西依次分布有平塘、米场、安垌、油麻坡和三叉冲等岩体。其中,燕山晚期的岩体与钨钼成矿关系密切(王炯辉等,2014;冯定素等,2016)。此外,区域上还发育有花岗斑岩、石英闪长玢岩、中基性岩、辉绿岩和煌斑岩等中酸性岩脉。

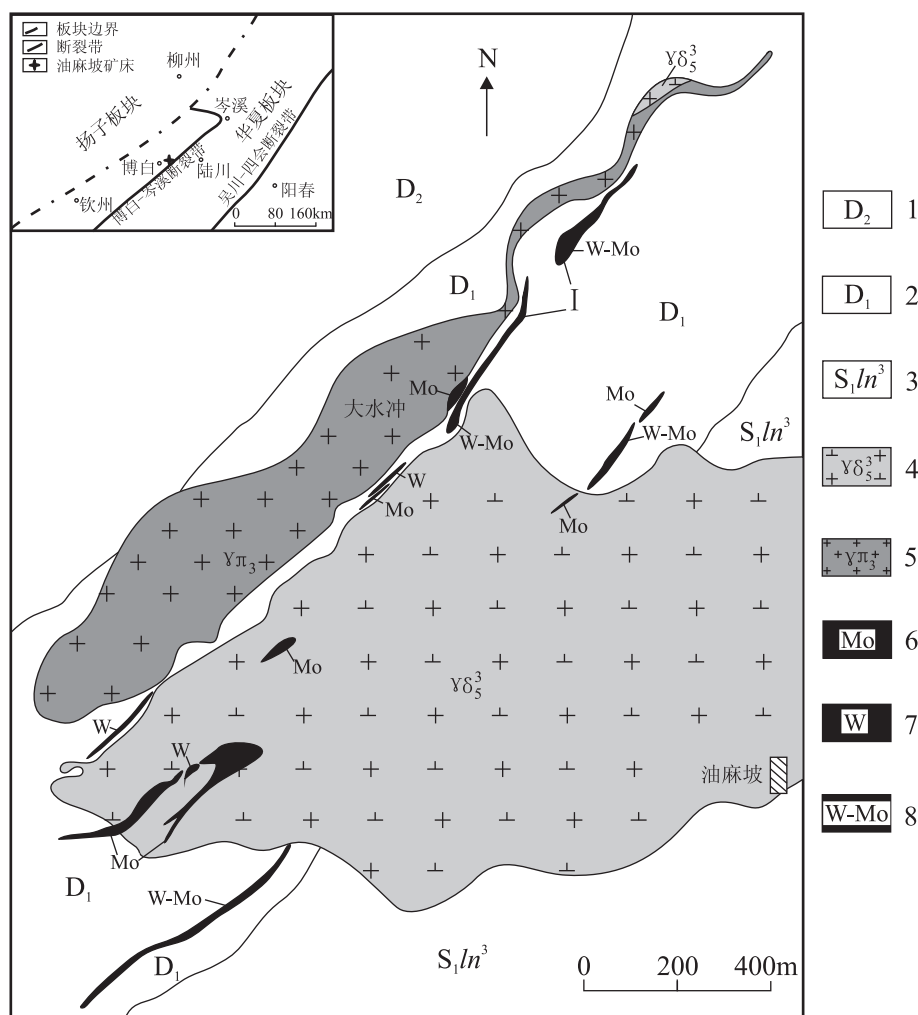
2 矿区地质特征

矿区出露地层主要为古生界一套变质岩系,自下而上依次为志留系莲滩群下组(S_1ln)灰-浅灰色绢云石英片岩、绢云片岩夹石英绢云片岩;下泥盆统(D_1)绢云石英片岩、石英片岩、石英岩、石英绢云片岩、绢云片岩及矽卡岩,以及中泥盆统(D_2)粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩、板岩及石英砂岩等。其中,下泥盆统是矿区主要赋矿层位。

矿区褶皱不甚发育,主要为一单斜构造,地层走向NE,倾向NW,倾角为 $40^\circ\sim 80^\circ$,局部倒转。矿区断裂构造以大致平行地层走向的NE向断裂为主,NW向次之,且NW向断裂切割NE向断裂。其中,NE向断裂成群、成带密集分布,间距为200~1000m,断层延伸长,深度大,为区内主要控岩、控矿构造。

矿区岩浆岩主要有油麻坡岩体和大水冲岩体(图1)。

(1)油麻坡岩体。侵位于志留-泥盆系中,呈岩株产出,出露面积约为 1.5 km^2 。岩体岩性组合复杂,有花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、黑云母花岗闪长斑岩和斜长花岗斑岩等,不同岩性分布无规律,难以划分相带,但主体岩性为花岗闪长岩。此外,岩心钻探揭示出深部还存在有细粒白云母花岗岩。



1. 中泥盆统; 2. 下泥盆统; 3. 志留系连滩群下组第三段; 4. 燕山晚期花岗闪长岩(油麻坡岩体);
5. 花岗斑岩(大水冲岩体); 6. 钼矿体; 7. 钨矿体; 8. 钨钼矿体

图1 油麻坡矿区地质图(广西壮族自治区地质调查总队, 2012 资料修改)

Fig. 1 Geological map of the Youmapo ore deposit

花岗闪长岩: 浅灰色, 似斑状结构, 块状构造。斑晶主要为角闪石(5%~15%), 基质为显晶质, 由斜长石(30%~45%)、石英(15%~30%)、钾长石(5%~12%)、黑云母(5%~15%)和少量角闪石组成, 副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿、榍石等。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年表明其成岩年龄为(109.0±0.3~109.7±1.1)Ma(王炯辉等, 2014; 冯定素等, 2016)。

白云母花岗岩: 为岩心钻探揭示的隐伏岩体, 其与花岗闪长岩呈截然接触关系。岩石呈灰白色, 细粒花岗结构, 块状构造, 主要矿物包括斜长石(25%~35%)、钾长石(20%~25%)、石英(30%~40%)、白云母(5%~10%)和少量黑云母(3%±), 副矿物为钛铁矿、磁铁

矿及少量萤石、黄铁矿和辉钼矿等。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年表明其成岩年龄(100.7±0.5~103.3±1.2)Ma(王炯辉等, 2014; 冯定素等, 2016)。

(2) 大水冲岩体。主要岩性为花岗斑岩, 呈不规则带状产出, 侵位于中泥盆统中。岩石呈深灰色, 斑状结构, 块状构造。斑晶含量约为 45%, 主要为石英、钾长石、斜长石, 基质主要为绢云母(20%)、斜长石(15%)、石英(10%)、透闪石(5%)和绿泥石(3%)。该岩体多具压碎及片理化现象, 发育有绢云母化、角闪岩化、硅化、黑云母化和钾长石化等蚀变, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年表明, 成岩年龄为(479.7±3.9)Ma(冯定素等, 2016)。

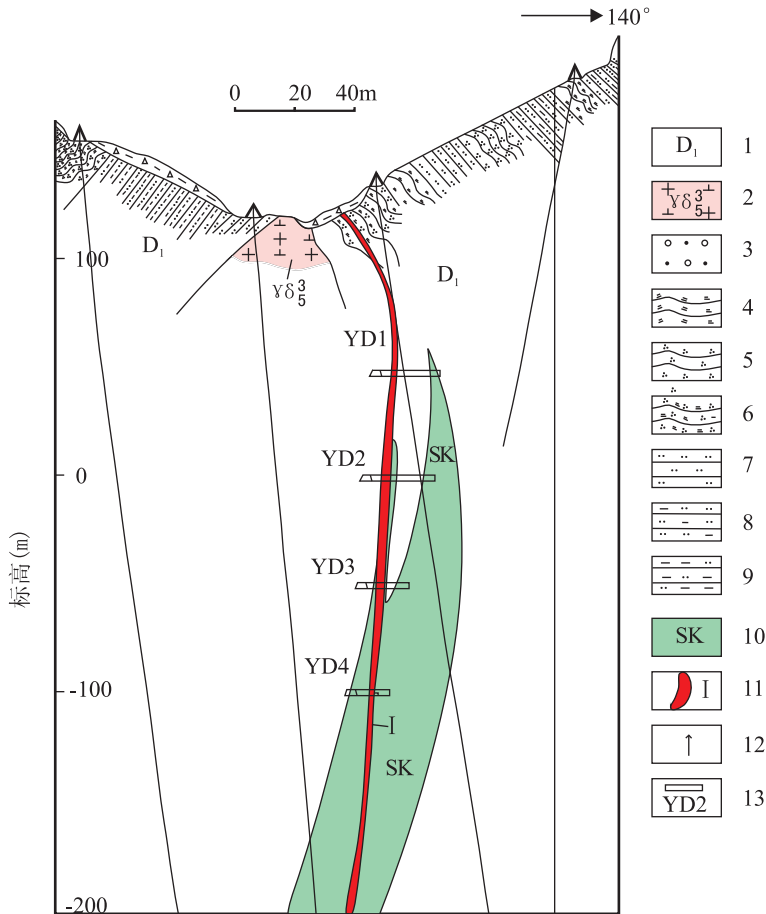
3 矿体特征

矿区共圈定钨(钼、硫)矿体 33 个,其中钨矿体 13 个,钼矿体 17 个,硫矿体 3 个。各矿体规模相差悬殊,产状基本相似,走向 NE,倾向 NW,呈透镜状、似层状产出,与地层总体产状基本一致。钨(硫)矿体主要产于下泥盆统砂卡岩中,钼矿体则主要产于花岗闪长岩和花岗斑岩中。

区内主矿体有 I 号钨(钼)矿体,其次为 IV 和 V

号钨矿体。

I 号钨(钼)矿体为区内规模最大矿体,占矿区总资源量 84%,也是笔者研究的主要对象。矿体产于下泥盆统的砂卡岩中(图 1、图 2)。矿体呈透镜状、似层状产出,走向 NE33°,倾向以 NW 为主,倾角为 83°±。矿体长约为 796 m,厚为 0.97~54.52 m,平均为 12.95 m,控制最大斜深约 490 m。矿石品位为 WO₃ 0.191%~1.284%,Mo 0.001%~0.019%。含矿岩性主要是砂卡岩,局部为砂卡岩化绢云石英片岩。



1. 下泥盆统;2. 燕山晚期花岗闪长岩;3. 第四系砂土;4. 绢云母片岩;5. 石英片岩;6. 绢云石英片岩;
7. 粉砂岩;8. 泥质粉砂岩;9. 粉砂质泥岩;10. 砂卡岩;11. 矿体及编号;12. 钻孔;13. 坑道及编号

图 2 油麻坡钨钼矿床 16 勘探线剖面图(底图据付强等,2014 修改)

Fig. 2 Geological section along No. 16 exploration line of the Youmapo W - Mo ore deposit

IV 号矿体赋存于下泥盆统砂卡岩中,呈扁豆状沿层产出,矿体走向 NE32°,地表倾向 SE,深部倾向 NW,倾角为 88°,矿体长约为 184 m,最大斜深为 148 m,厚为 0.45~8.02 m,平均为 3.25 m,矿体平

均品位为 WO₃ 0.458%;V 号矿体赋存于下泥盆统砂卡岩中,矿体长约为 584 m,厚为 0.91~10.12 m,平均为 6.85 m,矿体平均品位为 WO₃ 0.473%。

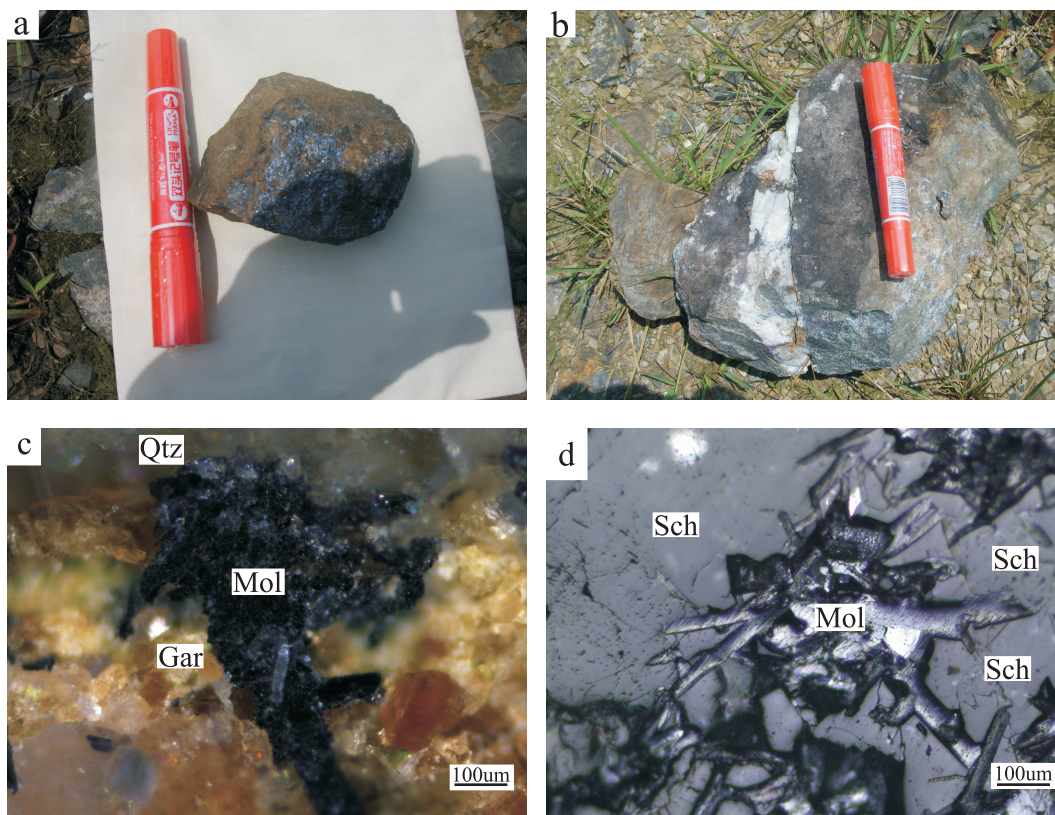
区内矿石按自然类型可划分为砂卡岩型和石英

脉型,但以前者为主体,后者叠加在前者之上或单独产出形成独立矿体。

矽卡岩型矿石主要金属矿物有白钨矿、辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿和辉铋矿等;脉石矿物主要为石榴子石、石英、方解石和萤石,次为阳起石、绿帘石、透辉石、符山石、绿泥石、斜长石和白云母等。

石英脉型矿石主要金属矿物有辉钼矿、辉铋矿、辉铊矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿及少量黑钨矿和微量自然金;脉石矿物以石英、长石和白云母为主,次为黑云母、绿泥石和绢云母等。

矿石结构主要有细粒半自形-他形粒状结构和交代结构。矿石构造以致密块状和浸染状为主,其次为细脉状构造和网脉状构造(图 3a、图 3b)。



a. 块状辉钼矿矿石; b. 含辉钼矿的石英脉; c. 辉钼矿(Mol)交代石榴子石(Gar)和石英(Qtz)(+)10×10;
d. 辉钼矿(Mol)交代、穿切白钨矿(Sch)(-)10×10

图 3 油麻坡矿床野外及镜下照片

Fig. 3 Field and microscopic photographs of the Youmapo ore deposit

矿区围岩蚀变类型复杂,空间上,自花岗闪长岩向外依次呈现钠长石化、云英岩化、硅化、矽卡岩化(角岩化)和大理岩化的蚀变分带规律,与钨钼矿成矿关系密切的主要是矽卡岩化、硅化。

根据矿石矿物共生组合、结构构造特征以及矿物间的相互穿插、交代关系,可将主成矿阶段矿化过程大致分为 4 个阶段。

I 早期矽卡岩化阶段,即干矽卡岩阶段。主要形成石榴子石、透辉石和符山石等无水矽卡岩矿物,

该阶段形成了区内矽卡岩化和矽卡岩,分布在近矿附近或作为赋矿围岩。

II 晚期矽卡岩化阶段,即湿矽卡岩阶段。形成白钨矿、黄铁矿和毒砂等金属矿物和阳起石、透闪石、斜长石、绿帘石、白云母、磁铁矿、石英和绿泥石等非金属矿物,该阶段形成的矿物明显交代早期形成的矽卡岩矿物。白钨矿主要形成于该阶段,以星散状或浸染状分布于矽卡岩中,交代早阶段石榴子石。

Ⅲ石英-硫化物阶段,形成辉钼矿、辉铋矿、辉锑矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、白铁矿、磁黄铁矿及少量黑钨矿。辉钼矿主要形成于该阶段,交代早阶段石榴子石和白钨矿(图 3c、图 3d),多以石英脉形式充填于构造裂隙内,或叠加在早期形成的矽卡岩之上。

Ⅳ碳酸盐-萤石阶段,以形成细脉状和浸染状方解石和萤石组合为特征,方解石-萤石细脉叠加于石英-硫化物细脉之上。

上述 4 个成矿阶段中,Ⅱ和Ⅲ为主成矿阶段。

4 流体包裹体研究

用于流体包裹体研究的样品采自 24~26 号勘探线Ⅰ号主矿体中的矽卡岩型钨铅矿石和含辉钼矿石英脉,分别代表Ⅱ和Ⅲ两个主成矿阶段成矿产物。样品测试在广西大学资源与冶金学院矿物实验室进行,岩矿观察仪器采用德国 LeicaDM2700P 型号(摄像头为 LeicaDFC295)偏光显微镜,显微测温仪器采用英国 Linkam_THMSG600 型号冷热台与德国 LeicaDM2700P(摄像头为 Micropublisher5.0RTV)偏光显微镜匹配,技术参数:0~-196℃精度为±0.2℃;0~+600℃精度为±1℃。冷冻法测定包裹体冰点温度,均一法测定均一温度。具体测试方法和原理参见卢焕章等(2004)。

4.1 流体包裹体特征

通过对石英矿物包裹体片镜下观察,发现石英内含有大量原生流体包裹体,根据 ROEDDER(1984)和卢焕章等(2004)提出的流体包裹体在室温下相态分类准则及冷冻回温过程中的相态变化,将其中的原生包裹体主要分为 NaCl-H₂O 型(A 型)、NaCl-CO₂-H₂O 型(B 型)和纯 CO₂ 型(C 型)。

(1)NaCl-H₂O 型(A 型)。此类包裹体主要由 NaCl 和 H₂O 组成,可分为单相型(A-1)和气液两相型(A-2)。

A-1 型:由 L_{H₂O}单相组成(图 4a),占包裹体总量为 15%±,形态以米粒状、不规则形为主,呈自由状、小群状分布,包裹体长轴为 1~5 μm。

A-2 型:由 L_{H₂O}和 V_{H₂O}两相组成(图 4b、图 4c),占包裹体总量为 55%±,形态以负晶形、长条形和椭圆形为主,呈小群状或与其他类型包裹体混

合分布。包裹体长轴为 2~24 μm,多以 2~10 μm 为主,气相(V_{H₂O})体积分数为 5%~80%,多以 10%~35%为主。

(2)NaCl-CO₂-H₂O 型(B 型)。该类包裹体由 L_{H₂O}、L_{CO₂}和 V_{CO₂}三相组成(图 4d、图 4e、图 4f),占包裹体总量为 25%±,显示“双眼皮”特征。形态一般以负晶形、椭圆形和不规则多边形为主,呈孤立分布、小群状分布或与其他包裹体混合分布。包裹体长轴为 2~16 μm,多以 3~10 μm 为主。其中 CO₂相部分(L_{CO₂}+V_{CO₂})占体积分数为 20%~85%,多在 25%~60%。

(3)纯 CO₂ 型包裹体(C 型)。该类包裹体由 L_{CO₂}和 V_{CO₂}两相组成,占包裹体总量为 4%±,形态以半自形负晶形、圆形和椭圆形为主,呈分散状分布,包裹体长轴为 3~10 μm。室温条件下通过显微镜观察,该类包裹体与 A-2 型无明显区别,但在冷冻回温过程中,两者相态呈现明显不同的变化。

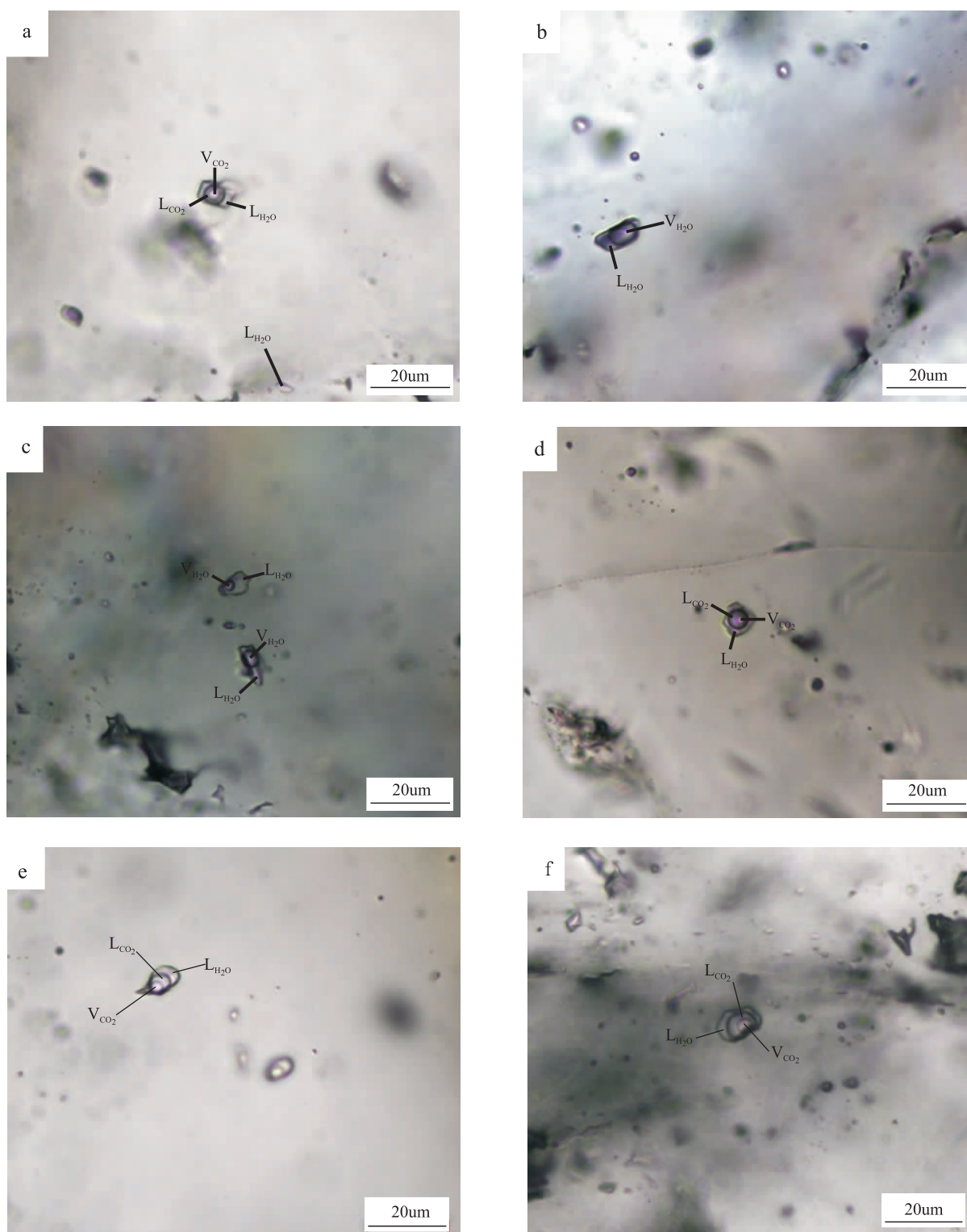
4.2 流体包裹体显微参数测定

(1)NaCl-H₂O 型包裹体(A 型)。对矽卡岩型钨铅矿石和含辉钼矿石英脉型矿石石英矿物中的 NaCl-H₂O 型包裹体(A 型)进行详细显微测温,相关数据见表 1。

共测得 90 个两相 NaCl-H₂O 型包裹体(A-2 型)测温数据。初熔温度-23.1~-20.1℃,冰点温度-7.3~-3.2℃,由图 5a、图 5b 可以看出,Ⅱ成矿阶段均一温度介于 168~326℃,主要集中于 210~290℃。盐度介于 5.55%~11.46%,主要集中于 6.16%~9.07%;Ⅲ成矿阶段均一温度介于 149~325℃,主要集中于 210~270℃。盐度介于 5.25%~11.23%,主要集中于 6.3%~8.94%。密度 0.753~0.969g/cm³。

(2)H₂O-NaCl-CO₂型包裹体(B 型)。对矽卡岩型钨铅矿石和含辉钼矿石英脉型矿石石英矿物中的 H₂O-NaCl-CO₂型包裹体(B 型)包裹体进行测温,相关数据见表 2。

共测得 90 个 H₂O-NaCl-CO₂型包裹体(B 型)测温数据。初熔温度:-60.1~-56.9℃,略低于纯 CO₂的三相点(-56.6℃)(ROEDDER, 1984),表明可能有少量 CH₄等成分存在(DIAMOND, 2001),笼形物温度:3.9~9.1℃,CO₂均一到 L_{CO₂}部分均一温度为 20.9~29.1℃,完全均一温度为 236~348℃,盐度为 1.81%~10.72%



a. NaCl-CO₂-H₂O 型包裹体和单相盐水包裹体, 标本 YMP16-13; b. 富气相两相 NaCl-H₂O 型包裹体, 标本 YMP13-5; c. 富气相、富液相包裹体共生, 标本 YMP13-4; d. NaCl-CO₂-H₂O 型包裹体, 标本 YMP09-4; e. 眼球状 NaCl-CO₂-H₂O 型包裹体, 标本 YMP16-15; f. 富气相 NaCl-CO₂-H₂O 型包裹体, 标本 YMP16-2

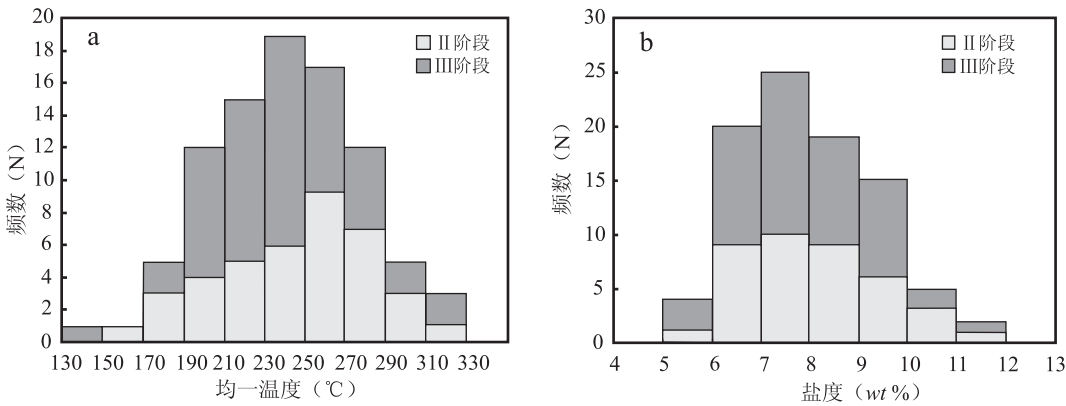
图 4 油麻坡矿床流体包裹体类型图

Fig. 4 Fluid inclusion types of the Youmapo ore deposit

表 1 两相 NaCl-H₂O 型包裹体参数表
Tab. 1 Microthermometric data of two-phase NaCl-H₂O type inclusions

样品 编号	成矿 阶段	寄主 矿物	包裹体特征		测试 数目	初熔温度	冰点温度	均一温度	盐度	密度
			长轴(um)	气液比(%)		(T _{fm}) (℃)	(T _m) (℃)	(T _h) (℃)	(NaCleqv) (wt%)	(ρ) (g/cm ³)
YMP08	Ⅱ	石英	2~8	5~35	20	-23.1~-20.5	-7.3~-3.4	168~326	5.55~11.46	0.753~0.969
YMP09	Ⅱ	石英	2~10	8~40	19	-21.9~-20.1	-7.1~-3.8	195~296	6.3~10.61	0.789~0.943
YMP12	Ⅲ	石英	2~6	10~35	10	-21.8~-20.5	-7.6~-3.2	191~275	5.25~11.23	0.807~0.909
YMP13	Ⅲ	石英	2~10	5~40	10	-21.5~-20.3	-6.2~-3.6	198~304	5.85~9.47	0.768~0.94
YMP15	Ⅲ	石英	2~11	5~30	16	-21.5~-20.3	-6.6~-3.4	149~325	5.7~9.98	0.77~0.951
YMP16	Ⅲ	石英	2~12	5~45	15	-21~-20.4	-7.2~-3.8	182~313	6.29~10.74	0.774~0.944

注:样品 YMP08、YMP09 来自矽卡岩型钨钼矿石,YMP12、YMP13、YMP15、YMP16 来自含辉钼矿石英脉型矿石。



a. 两相 NaCl-H₂O 型包裹体均一温度-频数直方图;b. 两相 NaCl-H₂O 型包裹体盐度-频数直方图

图 5 两相 NaCl-H₂O 型包裹体直方图

Fig. 5 Histogram of NaCl-H₂O type inclusions

(NaCleqv), CO₂ 相密度为 0.623~0.753g/cm³, 总密度为 0.521~0.879 g/cm³; CO₂ 均一到 V_{CO₂} 部分均一温度为 22.4~28.9℃, 完全均一温度为 278~321.6℃, 盐度为 3.57%~8.93% (NaCleqv), CO₂ 相密度为 0.225~0.293g/cm³, 总密度为 0.367~0.879g/cm³ (表 2)。其中, 盐度由 (ROEDDER, 1984) 公式: 盐度(%)=15.520 22-1.023 42×T-0.052 86×T² 计算得, CO₂ 相密度可通过查纯 CO₂ 气-液均-温度-密度参数值表(刘斌, 1999) 获得, 盐水密度可根据 NaCl-H₂O 体系 T-ρ 相图(卢焕章, 2004) 而得, H₂O-NaCl-CO₂ 型包裹体密度, 由(刘斌, 1999) 公式: ρ=φ_{CO₂}×ρ_{CO₂}+(1-φ_{CO₂})×ρ_{aq} 计算得, 公式中 ρ 为流体总密度, ρ_{CO₂} 和 ρ_{aq} 分别为 CO₂ 密度和盐水密度, φ_{CO₂} 为 CO₂ 气-液均一时 CO₂ 相的充填度, 摩尔分数 x(CO₂)、x(H₂O) 和 x

(NaCl) 利用 GeoFluid 1.0 软件(龚庆杰, 2005) 计算, 计算结果见表 2。

(3) 纯 CO₂ 型包裹体(C 型)。在显微测试过程中, 发现有少量纯 CO₂ 型包裹体(C 型) 分布在 H₂O-NaCl-CO₂ 型包裹体(B 型) 附近, 共获得 10 组纯 CO₂ 型包裹体温度数据。气液比 20%~60%, 初熔温度为 -59.2~-56.9℃, 笼形物温度为 5.9~8.6℃, 均一到 L_{CO₂} 温度为 22.1~29.2℃, 密度为 0.623~0.738g/cm³; 均一到 V_{CO₂} 温度为 24.8~28.3℃, 密度为 0.239~0.291g/cm³。

5 问题讨论

5.1 成矿流体特征

通过对Ⅱ和Ⅲ主成矿阶段流体包裹体的显微测

表 2 三相 H₂O - NaCl - CO₂ 型包裹体参数表
Tab. 2 Microthermometric data of three-phase H₂O - NaCl - CO₂ type inclusions

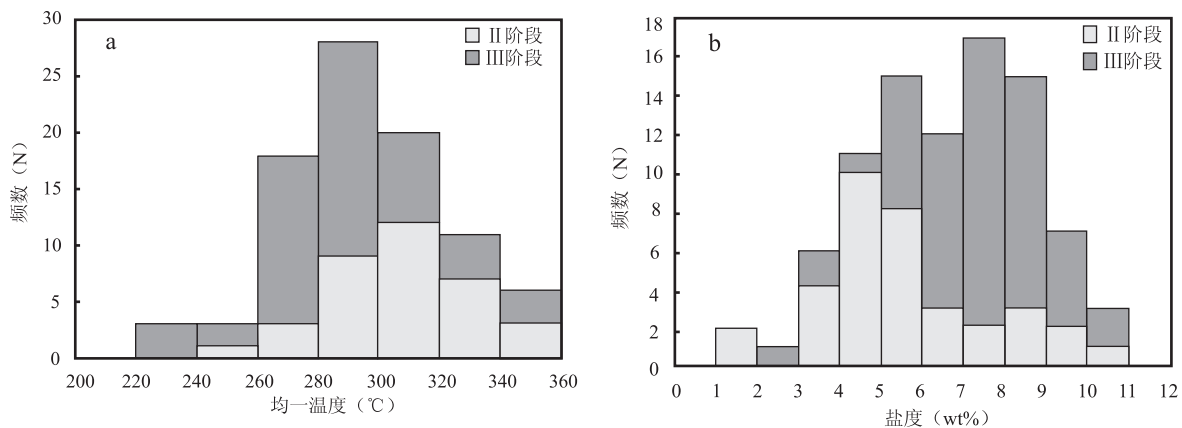
样品 编号	成矿 阶段	寄主 矿物	包裹体 特征		测试 数目	初熔温度 (T _{fm})		笼形物 温度(T _m)	部分均一温度 (THCO ₂)℃		均一温度 (T _h)		盐度(%) (NaCl _{eqv})	密度(ρ) (g/cm ³)		x(CO ₂)	x(H ₂ O)	x(NaCl)
			长轴 (um)	气液 比(%)		(°C)	(°C)		V→L	L→V	V→L	L→V		CO ₂	H ₂ O			
YMP08	Ⅱ	石英	2~13	20~55	16	-59.6~-57.2	4.3~8.1	21.9~29.1	26.1~28.1	259~332	281~321.6	3.76~10.14	0.225~0.741	0.721~0.87	0.529~0.819	0.035~0.086	0.9~0.939	0.011~0.032
YMP09	Ⅱ	石英	2~11	22~48	19	-60.1~-57.2	6.5~9.1	23.8~29.2	24.6~25.7	276~348	308	1.81~7.54	0.234~0.721	0.666~0.822	0.367~0.781	0.035~0.176	0.809~0.949	0.005~0.023
YMP12	Ⅲ	石英	2~15	24~59	17	-59.4~-57.1	4.4~8.6	22.6~29.1	20.9	267~342	—	2.81~9.99	0.247~0.753	0.712~0.844	0.480~0.794	0.054~0.112	0.86~0.938	0.008~0.029
YMP13	Ⅲ	石英	2~13	25~69	17	-59.9~-57	4.5~8.2	20.9~28.8	26.5~28.9	263~343	270~288.1	3.57~9.08	0.264~0.753	0.707~0.861	0.497~0.839	0.032~0.117	0.818~0.941	0.01~0.028
YMP15	Ⅲ	石英	2~12	20~70	11	-58.1~-56.9	3.9~6.2	21.8~26.4	—	236~301	279	7.14~10.44	0.225~0.745	0.825~0.909	0.792~0.879	0.028~0.046	0.926~0.945	0.022~0.034
YMP16	Ⅲ	石英	2~16	28~60	10	-58.7~-56.8	5.3~7.4	21.9~27.7	—	268~298	—	5.05~8.61	0.234~0.744	0.79~0.836	0.782~0.808	0.03~0.102	0.878~0.95	0.015~0.027

试,表明矿区流体包裹体有 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型(A-1型、A-2型)、 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 型(B型)和少量纯 CO_2 型(C型)。其中, $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型(A-2型)完全均一温度集中在 $211\sim 290^\circ\text{C}$,盐度主要为 $6.16\%\sim 9.98\%$ (NaCl_{eqv}) (图 5a、图 5b),密度为 $0.753\sim 0.969\text{g}/\text{cm}^3$; $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 型包裹体均一温度集中于 $260\sim 337^\circ\text{C}$,盐度主要为 $4.07\%\sim 8.93\%$ (NaCl_{eqv}) (图 6a、图 6b),密度为 $0.367\sim 0.879\text{g}/\text{cm}^3$ 。II 阶段流体包裹体均一温度介于 $240\sim 360^\circ\text{C}$,主要集中于 $280\sim 340^\circ\text{C}$,盐度为 $1.81\%\sim 10.14\%$ (NaCl_{eqv}),主要集中于 $3.33\%\sim 5.94\%$ (NaCl_{eqv}); III 成矿阶段均一温度介于 $236\sim 343^\circ\text{C}$,主要集中于 $260\sim 320^\circ\text{C}$,盐度为 $3.57\%\sim 10.72\%$

(NaCl_{eqv}),主要集中于 $5.05\%\sim 9.99\%$ (NaCl_{eqv}) (图 6a、图 6b)。综上所述,油麻坡矿床主成矿阶段成矿流体表现为中高温、低盐度特征。

花岗质岩浆中 CO_2 的溶解度低于 H_2O 和 Cl ,因此,在含 CO_2 的岩浆中最先出溶,形成低盐度富 CO_2 的流体(冷成彪等,2009),油麻坡矿床从 II $\rightarrow$ III 阶段, $x(\text{CO}_2)$ 有所降低($0.035\sim 0.176\rightarrow 0.028\sim 0.017$) (表 2),显示出岩浆流体特征。

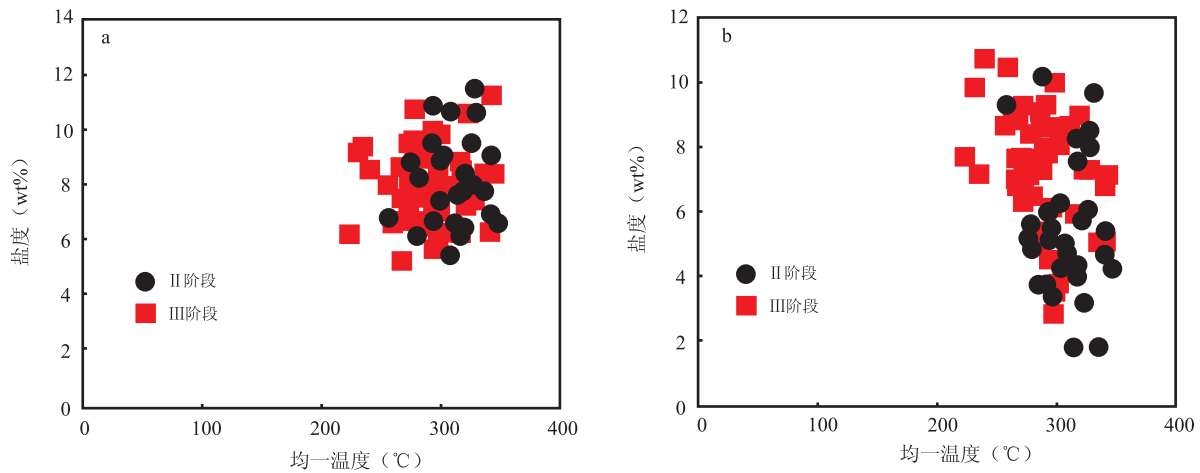
从包裹体均一温度-盐度图可看出(图 7a、图 7b),随着均一温度的变化,油麻坡矿床主成矿阶段的两相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体的盐度变化不大,而 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体盐度变化范围较大。认为在成矿主阶段随着均一温度的降低,成矿流体发



a. $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 型包裹体均一温度-频数直方图; b. $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 型包裹体盐度-频数直方图

图 6 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 型包裹体直方图

Fig. 6 Histogram of $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ type inclusions



a. 两相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体均一温度-盐度图 b. 三相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体均一温度-盐度图

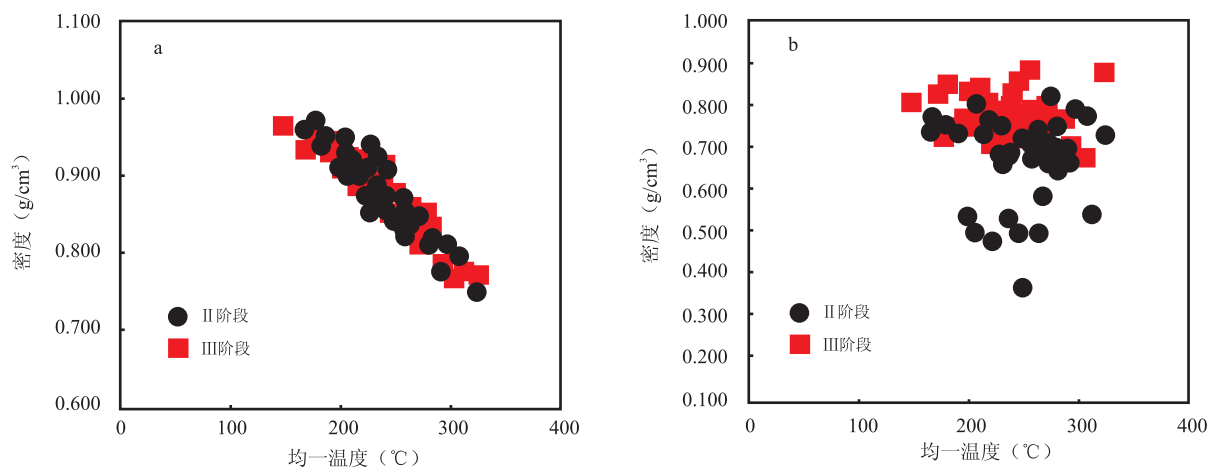
图 7 各类包裹体均一温度-盐度图

Fig. 7 Diagram of homogenization temperatures-salinities of different types of inclusions

生不混溶, CO_2 等挥发组分不断逸散, 破坏了流体内部物理化学体系的平衡, 并引起矿液发生“沸腾”作用(蔡建明等, 1981; 张文淮等, 1996), 导致流体由低盐度富 CO_2 向较高盐度水溶液发展, 故 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体盐度变化范围较大。而后, 流体表现为富盐水溶液, 性质趋于稳定, 所以两相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体的盐度变化范围较小, 相对集中。

在地质环境中, 流体密度与温度成反比, 与盐度成正比(池国祥等, 2011)。从均一温度-密度图

中可以看出(图 8a、图 8b), 两相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体均一温度和密度呈明显的负相关关系, 流体密度与温度成反比, 随着均一温度的降低, 密度逐渐增大, 而 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体均一温度和密度无明显线性关系, 推测成矿主阶段随着均一温度、压力的变化, 使得 CO_2 溶解度降低, 成矿流体发生不混溶, 导致流体密度波动较大, 盐度增高, 而后成矿流体体系逐渐趋于平衡, 流体密度变化较小, 相对稳定。



a. 两相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体均一温度-密度图 b. $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体均一温度-密度图

图 8 各类包裹体均一温度-密度图

Fig. 8 Diagram of homogenization temperatures-densities of different types of inclusions

另外, 通过镜下观察发现石英中存在富气相和液相包裹体共生的现象, 且包裹体气液比例变化非常大(20%~70%), 具有大体一致的均一温度, 表明成矿过程中流体确实发生过沸腾和混合作用, 而沸腾作用可能是矿质沉淀富集成矿的重要因素之一。

5.2 成因探讨

根据流体包裹体特征研究, 表明油麻坡矿床主成矿阶段成矿流体表现为中高温、低盐度特征, 且随着均一温度的变化, 主成矿阶段(II、III)的两相 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型包裹体的盐度变化不大, 而 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 型包裹体盐度变化范围较大, 且 II→III 阶段, $x(\text{CO}_2)$ 有所降低, 显示出花岗质岩浆流体演化特征。付强等(2014)对钨钼矿石中黄铁矿、辉钼矿、辉锑矿样品 S 同位素组成分析测得, 硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 1.4‰~3.1‰, 呈现塔式分布, 接近陨石硫组成; 辉钼矿石英脉中石英 $\delta\text{D} = -50.0\text{‰} \sim -57.8\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.7\text{‰} \sim 6.0\text{‰}$ 。上述资料均表

明油麻坡矿区成矿流体中岩浆水占据主要地位, 且在成矿流体演化后期, 加入了一定量的大气降水。

区内矿体主要产在油麻坡岩体内外接触带, 冯定素等(2016)通过矽卡岩矿石中 2 件辉钼矿样品的 Re-Os 测年初步获得了 $(97.4 \pm 1.9)\text{Ma}$ 的成矿年龄数据, 与油麻坡岩体的成岩年龄 $(100.7 \sim 109.7)\text{Ma}$ (王炯辉等, 2014; 冯定素等, 2016) 接近, 明显晚于大水冲岩体 $(479.7 \pm 3.9)\text{Ma}$ 的成岩年龄(冯定素等, 2016), 表明区内钨钼成矿与油麻坡岩体时空关系密切。

综上所述, 油麻坡钨钼矿床系燕山晚期花岗质岩体侵入后期衍生的含矿热液沿侵入接触带发生运移, 并在有利构造部位聚集形成接触交代型的矽卡岩矿床, 矿床成因系岩浆热流体交代-充填成矿。

6 结论

(1) 油麻坡矽卡岩型钨钼矿可分为干矽卡岩阶

段(Ⅰ)、湿砂卡岩阶段(Ⅱ)、石英-硫化物阶段(Ⅲ)和碳酸盐-萤石阶段(Ⅳ)等4个成矿阶段。其中,Ⅱ和Ⅲ为主成矿阶段。

(2)Ⅱ和Ⅲ主成矿阶段包裹体类型主要有 H_2O -NaCl 型、 H_2O -NaCl- CO_2 型和少量纯 CO_2 型。其中,Ⅱ阶段流体包裹体均一温度主要集中于 $280 \sim 340^\circ C$, 盐度主要集中于 $3.33\% \sim 5.94\%$ (NaCleqv); Ⅲ成矿阶段均一温度主要集中于 $260 \sim 320^\circ C$, 盐度主要集中于 $5.05\% \sim 9.99\%$ (NaCleqv)。成矿流体表现为中高温、低盐度特征,且成矿过程中流体发生过沸腾和混合作用。

(3)油麻坡钨铅矿床为中高温岩浆热液交代-充填型矿床,成矿与燕山晚期油麻坡岩体有关。

参考文献(References):

- 毛伟. 广西东部金银成矿特征及找矿方向[J]. 广西地质, 1995, 8(2): 37-54.
- MAO Wei. Metallogenic laws and exploration prospects of Au and Ag deposits in eastern Guangxi[J]. Guangxi Geology, 1995, 8(2): 37-54 (in Chinese with English abstract).
- 冯佐海, 雷良奇, 张起钻, 等. 佛子冲铅锌矿田火山岩覆盖区构造控矿特征[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 423-427.
- FENG Zuohai, LEI Liangqi, ZHANG Qizuan, et al. The ore-controlling structures in the volcanics-covered Area, Fuzichong Area, Pb-Zn ore field, Guangxi[J]. Geological Exploration For Non-Ferrous Metals, 1999, 8(6): 423-427 (in Chinese with English abstract).
- 杨斌, 李骏青. 广西东桃铅锌矿床喷流-沉积地球化学特征[J]. 矿产与地质, 2000, 14(5): 333-336.
- YANG Bin, LI Junqing. Exhalative-sedimentary geochemical features of Guangxi DongTao Lead-Zinc deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2000, 14(5): 333-336 (in Chinese with English abstract).
- 杨斌, 刘建明, 李水如. 广西佛子冲铅锌矿田热水沉积绿色岩和碳酸盐岩建造[J]. 矿床地质, 2002, (S1): 1068-1071.
- YANG Bin, LIU Jianming, LI Shuiru. Green-rock and carbonate construction formed by hot-water sedimentation in fozichong Lead-Zinc ore field[J]. Mineral Deposits, 2002, (S1): 1068-1071 (in Chinese with English abstract).
- 雷良奇, 宋慈安, 冯佐海. 广西佛子冲铅锌(银)成矿带多元素富集特征及矿床成因[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 74-82.
- LEI Liangqi, SONG Cien, FENG Zuohai. Discussion on multi-element enrichment characteristics and genesis of Fuzichong Pb-Zn(Ag) Metallogenic Belt, Guangxi[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(1): 74-82 (in Chinese with English abstract).
- 黄惠兰, 蔡明海, 彭松柏, 等. 广西东桃铅锌矿床流体包裹体研究[J]. 地质科技情报, 2004, 23(2): 31-35.
- HUANG Huilan, CAI Minghai, PENG Songbai, et al. Fluid inclusion of DongTao Lead-Zinc deposit in Guangxi[J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(2): 31-35 (in Chinese with English abstract).
- 李金发, 蔡明海. 广西东桃铅锌矿床控矿构造特征及其同位素年代学研究[J]. 地质科技情报, 2004, 23(2): 63-67.
- LI Jinfa, CAI Minghai. Ore-controlling structure features and isotopic geochronology of DongTao Lead-Zinc deposit in Guangxi[J]. Geological Science and Technology Information, 2004, 23(2): 63-67 (in Chinese with English abstract).
- 蔡锦辉, 韦昌山, 王猛, 等. 广西佛子冲铅锌矿田地质特征及找矿模式[J]. 华南地质与矿产, 2007, (3): 12-23.
- CAI Jinhui, WEI Changshan, WANG Meng, et al. The geological characteristics and prospecting mode of the Fuzichong Pb-Zn ore field, Guangxi[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2007, (3): 12-23 (in Chinese with English abstract).
- 翟丽娜, 王建辉, 韦昌山, 等. 广西佛子冲铅锌矿田成岩成矿时代研究[J]. 华南地质与矿产, 2008, (3): 46-49.
- ZHAI Lina, WANG Jianhui, WEI Changshan, et al. Researching on the age of rock-forming and metallogenic epoch of Fuzichong ore field in Guangxi[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2008, (3): 46-49 (in Chinese with English abstract).
- 刘贤才. 广西博白中苏银金矿特征及成因探讨[J]. 科技创新导报, 2011, (18): 115.
- LIU Xiancai. Discussion on characteristics and genesis of Zhongsu Ag-Au deposit in Bobai, Guangxi[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011, (18): 115 (in Chinese).
- 韦龙明, 冯经平, 付伟, 等. 广西佛子冲铅锌矿绿色岩 REE 地球化学特征及成矿指示意义[J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32(2): 155-161.
- WEI Longming, FENG Jingping, FU Wei, et al. REE geochemical characteristics of green rock in Fozichong Lead-Zinc deposit and genesis implications[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2012, 32(2): 155-161 (in Chinese with English abstract).
- 付伟, 柴明春, 杨启军, 等. 广西佛子冲大型铅锌多金属矿床的成因: 流体包裹体和 H-O-S-Pb 同位素地球化学

- 约束[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4136-4150.
- FU Wei, CHAI Mingchun, YANG Qijun, et al. Genesis of the Fozichong Pb-Zn polymetallic deposit: constraints from fluid inclusions and H-O-S-Pb isotopic evidences[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(12): 4136-4150 (in Chinese with English abstract).
- 付强, 葛文胜, 温长顺, 等. 广西油麻坡钨钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2010, S1: 183-184.
- FU Qiang, GE Wensheng, WEN Changshun, et al. Geologic feature and genesis of Youmapo W-Mo deposit in Guangxi[J]. Mineral Deposits, 2010, S1: 183-184 (in Chinese with English abstract).
- 杨拓. 广西博白油麻坡钨钼矿床地质特征及找矿标志[J]. 矿产与地质, 2013, 27(5): 381-387.
- YANG Tuo. Geological characteristics and clues for prospecting of Youmapo W-Mo deposit in Bobai of Guangxi[J]. Mineral Resources and Geology, 2013, 27(5): 381-387 (in Chinese with English abstract).
- 王炯辉, 马星华, 李毅, 等. 花岗质复式岩体成因及其与 W-Mo 成矿的关系——以广西油麻坡岩体为例[J]. 地质学报, 2014, 88(7): 636-658.
- WANG Jionghui, MA Xinghua, LI Yi, et al. Petrogenesis of granitic complexes and implications for the W-Mo mineralization: a case study from the Youmapo pluton, Guangxi Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(7): 636-658 (in Chinese with English abstract).
- 付强, 葛文胜, 温长顺, 等. 广西油麻坡钨钼矿床地球化学特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2014, 33(4): 785-794.
- FU Qiang, GE Wensheng, WEN Changshun, et al. Geochemistry and genesis of Youmapo W-Mo deposit in Guangxi[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(4): 785-794 (in Chinese with English abstract).
- 冯定素, 毛景文, 陈懋弘, 等. 广西油麻坡钨钼矿床成岩成矿年代学研究及其地质意义[J]. 矿床地质, 2016, 35(3): 491-508.
- FENG Dingsu, MAO Jingwen, CHEN Maohong, et al. Geochronology of Youmapo W-Mo deposit in Guangxi and its geological significance[J]. Mineral Deposit, 2016, 35(3): 491-508 (in Chinese with English abstract).
- 周永章, 郑义, 曾长育, 等. 关于钦-杭成矿带的若干认识[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 1-6.
- ZHOU Yongzhang, ZHENG Yi, ZENG Changyu, et al. On the understanding of Qinzhong Bay-Hangzhou Bay metallogenic belt, South China[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(2): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- 罗璋. 广西博白-岑溪断裂带地质特征与构造演化[J]. 广西地质, 1990, 3(1): 25-34.
- LUO Zhang. The geological features and tectonic evolution in Bobai-Cenxi deep fault zone, Guangxi[J]. Geology of Guangxi, 1990, 3(1): 25-34 (in Chinese with English abstract).
- abstract).
- 广西壮族自治区地质勘查总院. 广西钨矿资源潜力评价报告[R]. 2012.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社: 2004.
- LU Huanzhang, FAN Hongrui, NI Pei, et al. Fluid inclusion[M]. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese).
- 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社: 1999.
- LIU Bin, SHEN Kun. Fluid inclusion thermodynamics[M]. Beijing: Geology Press, 1999 (in Chinese).
- 龚庆杰. 地质流体的热力学与化学动力学分析及其应用研究[D]. 中国地质科学院矿产资源研究所, 2005.
- GONG Qingjie. Thermodynamics and chemical kinetics analysis of geological fluid and its application[D]. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, 2005 (in Chinese).
- 冷成彪, 张兴春, 王守旭, 等. 岩浆-热液体系成矿流体演化及其金属元素气相迁移研究进展[J]. 地质论评, 2009, 55(1): 100-112.
- LENG Chengbiao, ZHANG Xingchun, WANG Shouxu, et al. Advances of researches on the evolution of ore-forming fluids and the vapor transport of metals in Magmatic-hydrothermal systems[J]. Geological Review, 2009, 55(1): 100-112 (in Chinese with English abstract).
- 蔡建明, 刘若兰, 曾广胜. 江西盘古山钨矿包裹体含盐度和 CO₂ 成分的研究及其在成矿中的意义[J]. 成都地质学院学报, 1981, (2): 99-103.
- CAI Jianming, LIU Ruolan, ZENG Guangsheng. Researches on the salinity and CO₂ components from Tungsten fluid inclusions and its significance of mineralization in Pangushan, Jiangxi[J]. Journal of Chengdu Institute of Geology, 1981, (2): 99-103 (in Chinese).
- 张文淮, 张志坚, 伍刚. 成矿流体及成矿机制[J]. 地学前缘, 1996, 3(4): 245-252.
- ZHANG Wenhui, ZHANG Zhigang, WU Gang. Ore-forming fluid and mineralization mechanism[J]. Earth Science Frontiers, 1996, 3(4): 245-252 (in Chinese with English abstract).
- 池国祥, 薛春纪. 成矿流体动力学的原理、研究方法及应用[J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 1-18.
- CHI Guoxiang, XUE Chunji. Principles, methods and applications of hydrodynamic studies of mineralization[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(5): 1-18 (in Chinese with English abstract).
- ROEDDER E. Fluid inclusions[J]. Reviews in Mineralogy, 1984, (12): 25-35.
- DIAMOND L W. Review of the systematics of CO₂-H₂O fluid inclusions[J]. Lithos, 2001, (55): 69-99.