

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2015.01.009

湖南邓埠仙钨矿流体包裹体特征及含矿岩体 U-Pb 年龄

汪群英^{1,2}, 路远发^{1*}, 陈郑辉³, 叶诗文⁴, 黄鸿新¹

WANG Qun-Ying^{1,2}, LU Yuan-Fa¹, CHEN Zheng-Hui³, YE Shi-Wen⁴, HUANG Hong-Xin¹

(1. 长江大学地球环境与水资源学院, 武汉 430100; 2. 江西省地质矿产勘查开发局赣西北大队, 九江 332000;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 湖北省第二地质大队, 恩施 445000)

(1. College of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, 430100, Wuhan;

2. The Jiangxi Northwestern Geological Team from Bureau of Geology and Mineral Exploration of Jiangxi Province, Jiujiang 332000, China;

3. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037; 4. The Second Geological Team of Hubei Province, Enshi 445000, Hubei, China)

摘要: 湘东南地区位于南岭多金属成矿带中段, 邓埠仙钨矿是湘东南地区一个重要的钨矿床。本文通过对邓埠仙矿区主要矿化阶段含石英及萤石脉中的流体包裹体进行初步岩相学观测并结合显微测温及拉曼探针分析, 发现邓埠仙钨矿中流体包裹体类型较为简单, 成分主要为 H₂O-NaCl(I 型), 对其进行进一步的研究及测试, 我们发现即使成分相同, 包裹体的均一温度及盐度仍显示出了较大的差异性, 其中 I 型包裹体的均一温度从 100~350℃ 均有分布, 且大致可以划分为三个温度区间, 分别为①240~290℃ 的高温区②170~240℃ 的中温区③120~170℃ 的低温区, 盐度整体 < 12w_B% NaCleq., 峰值为 5w_B% NaCleq., 这些都说明研究区成矿具有多期次性, 反映出多阶段矿化的特征。结合前人研究, 我们认为邓埠仙钨矿成矿流体的捕获压力约为 100Mpa, 按照静岩压力换算, 成矿的最小深度约为 3.7km。同时对邓埠仙钨矿的 I 型包裹体的拉曼探针测试显示, 萤石中的包裹体发育宽泛的 H₂O 包络峰, 而石英中发育的包裹体除宽泛的 H₂O 包络峰外可见少量 N₂, 综合分析我们认为流体在演化过程中所经历的混合作用导致以 H₂O 为主的气相溢出使得流体压力改变, 同时流体温度降低或许才是邓埠仙钨矿的主要沉淀机制。邓埠仙钨矿产于花岗岩体中, 其中中粒二云母花岗岩与成矿关系最为密切, 其成岩年龄有助于我们更详细的了解及推测邓埠仙矿区的成矿年龄, 通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定, 中粒二云母花岗岩的加权平均年龄为 158.6±0.7 Ma, 属燕山早期。

关键词: 流体包裹体组合; 锆石 U-Pb 测年; 邓埠仙钨矿床;

中图分类号: P627; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2015)01-077-12

Wang Q Y, Lu Y F, Chen Z H, Ye S W, Huang H X. Fluid Inclusion Characteristic and Ore-bearing Granite U-Pb Age of the Dengbuxian Tungsten Deposit, Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(1):77-88.

Abstract: The southeast of Hunan Province is in the middle of Nanling Range polymetallic metallogenic belt. Dengbuxian tungsten deposit is one of the most important in this area. In this paper, we selected the fluid inclusions from quartz and fluorite veins in the main mineralization stages of mining ore from this deposit, through preliminary petrographic observations, microthermometry research and Raman microprobe analysis, we found the type of fluid inclusions in the deposit is relatively simple, the main chemical compositions is H₂O-NaCl (type I). After further research and testing, we discovered that even inclusions with the same composition, their uniform

收稿日期: 2014-12-03; 修回日期: 2015-01-21.

第一作者: 汪群英(1987—), 女, 硕士学历, 毕业于长江大学地球环境与水资源学院, E-mail: emma.victory@163.com.

* 通讯作者: 路远发(1959—), 男, 研究员, 从事矿床地球化学研究工作, E-Mail: lyuanfa@163.com.

temperatures and salinities are still showed a larger difference, the inclusion's homogenization temperature distribute from 100 ~ 350 °C (without pressure correction) with multi-peak characteristics. We can identify three distinct temperature ranges: ①The high temperature of 240 ~ 290 °C; ②The medium temperature of 170 ~ 240 °C; ③The low temperature of 120 ~ 170 °C, and all of the inclusions salinity are below 12 wt%NaCleq, with a peak of 5 wt%NaCleq. All of these show that the ore-forming has multiple periods, and reflects the characteristics of the multi-stage mineralization in research area. Combined with previous studies, we figured out trapping pressure about 100 Mpa, according to lithostatic pressure conversion, the minimum depth of mineralization is about 3.7 km. The type I inclusions laser Raman probe test results show that both of the inclusions in quartz and fluorite veins were detected broad H₂O envelope peak, while only a small number of N₂ envelope peak was detected in quartz inclusions. Comprehensive analysis, we think the fluid migmatization lead to gaseous phase (mainly H₂O) overflow which occurred in the evolution process, then fluid pressure changed. Meanwhile, temperature reduction is the main factor of Dengbuxian tungsten mineralization. Dengbuxian tungsten deposit is in the granitic pluton, its diagenetic age can help us to understand more details about this metallogenic ages and speculate it. Through LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, the weighted average age of medium grain two-mica granites is 158.6 ± 0.7 Ma, belongs to the early Yanshanian.

Key words: Dengbuxian tungsten deposit; fluid-inclusion assemblage; zircon U-Pb age; Hunan Province

1 引言

邓埠仙钨矿位于湖南省茶陵县境内,是邓阜仙稀有金属矿田的重要组成部分,多年来与汝城(白云仙)钨矿、宜章县瑶岗仙钨矿被业界并称为湖南钨矿“三仙”^[1-2]。矿山始采于1920年,蕴藏着丰富的钨、铜、锡、钼、铌等多种有色及稀有金属矿产资源^[2],作为一个开采了近百年的老矿山,邓埠仙钨矿床主要产出石英脉型黑钨矿,其矿石有品位高,易选取等特点。但与南岭黑钨矿床典型代表的汝城钨矿及石英脉型钨矿床之一的瑶岗仙钨矿床相比,邓阜仙钨矿虽然取得了一定的研究成果,但在矿床的成矿流体及成矿期次上尚未有可供查阅的文献资料,这在一定程度上制约了该矿床及区域成矿规律的研究。本文在对邓埠仙钨矿床流体包裹体进行系统研究的过程中,结合流体包裹体组合(FIA)的方法,旨在查明成矿流体的基本特征,为确定矿床成因、划分成矿期次进而为区域成矿规律研究提供一定的理论依据。

2 区域地质概况

邓埠仙钨矿位于赣南隆起与湘桂拗陷的交接部位,属东南地洼区之南岭成矿带北东段。区域构造

格架为一北东向隆起,即太和仙隆起。隆起带由一系列北东向的挤压性断裂和褶皱组成,并与基底北西向和北东向断裂带控制了邓阜仙岩体的侵位^[3]。

矿区出露的地层简单,仅有寒武系浅变质岩(变砂岩、板岩、千枚岩),泥盆系、二叠系浅海相的碳酸盐和碎屑岩,侏罗系陆相碎屑岩及第四系风化残坡积物^[4]。

区内岩浆岩体为邓阜仙岩体,出露面积171km²。矿区位于该岩体的东南端。邓阜仙岩体是一种复式花岗岩侵入岩体,根据岩相学观察,主要分为三期^[4]。第一期为印支期粗粒斑状黑云母花岗岩,主要分布于老山拗断层下盘和南东角,其成岩时代应为220~230Ma;第二期为燕山早期中粒二云母花岗岩和中细粒少斑状二云母花岗岩,主要分布于老山拗断层上盘和北西角,其侵入时代应为150~160Ma^[5];第三期为燕山晚期细粒白云母花岗岩,主要分布于矿区的北端与上述两期花岗岩均有穿插,年龄测定为110Ma^[6]。

3 矿床地质特征

邓埠仙钨矿位于邓埠仙岩体的东南部,为热液充填石英脉型黑钨矿床^[7],矿区内出露主要岩体为黑云母花岗岩和二云母花岗岩体(图2,3)。矿区内

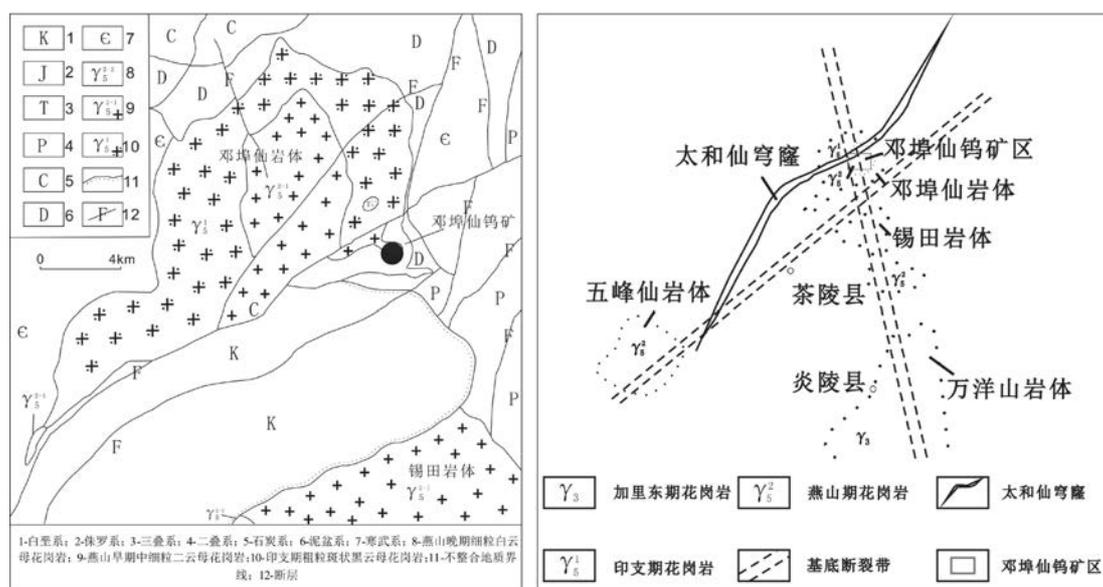


图1 邓埠仙矿区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Dengbuxian area

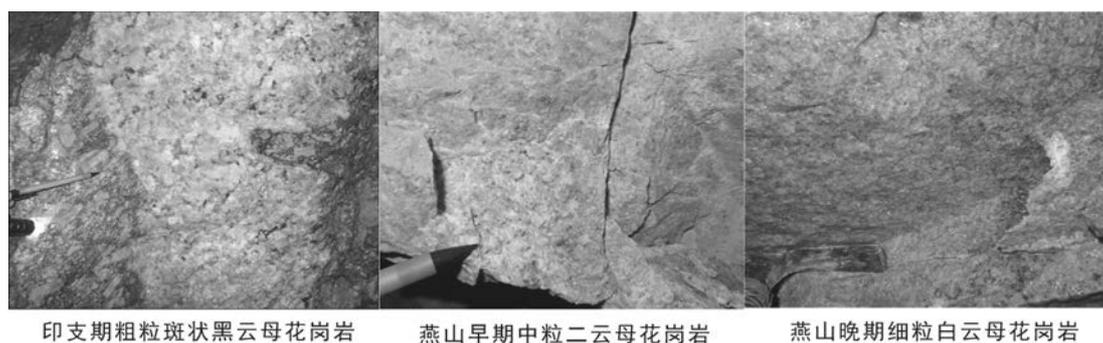


图2 邓埠仙三期岩岩体

Fig.2 Three periods of granitic intrusive bodies of Dengbuxian tungsten deposit

矿体主要赋存在邓埠仙复式花岗岩体裂隙破碎带之中,其中主断裂老山坳大断裂控制了矿产的赋存和分布^[1]。由于构造运动在矿区产生了NE—NEE组、NEE组、EW组等剪切裂隙群,为后期的岩浆侵入,矿床沉积聚集及储层提供了空间。区内脉岩及石英脉极其发育,其中含矿石英脉就有160余条,具开采价值的达25条。矿区构造则以断裂为主,其构造线主要为NE、NEE向。主要断裂有NE—EW向老山坳大断裂、NE向金竹垅断裂、NEE向墨庄大断裂,并发育一些成矿期后的沿脉破碎带和横切断层。矿区发育大量金属矿物,仅肉眼可辨的金属矿物就有黑钨矿、锡石、黄铁矿、毒砂、白钨矿、黄铜矿、辉钼矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等,其中黑钨矿为主要的矿石矿物,生于石英脉中,其含矿石

英脉外侧围岩多发育有云英岩化蚀变,指示了云英岩化与钨锡成矿之间密切的联系。

4 流体包裹体岩相学特征及显微测温

本文研究的测试样品均采自老山坳断层上下盘邓埠仙各含矿石英脉中,主要集中在10、13、14、15、16号脉中段,矿脉矿石矿物有黑钨矿、辉钼矿、毒砂、黄铁矿、白钨矿等,脉石矿物主要为石英和部分萤石。基本矿物组合为:石英—黄铁矿—毒砂及石英—萤石—黄铁矿,主要测试对象为萤石和石英中的流体包裹体。将样品磨制成厚度约为0.3 mm双面抛光的测温薄片,进行流体包裹体岩相学、均一法、冷冻法测温研究及激光拉曼探针成分分析。

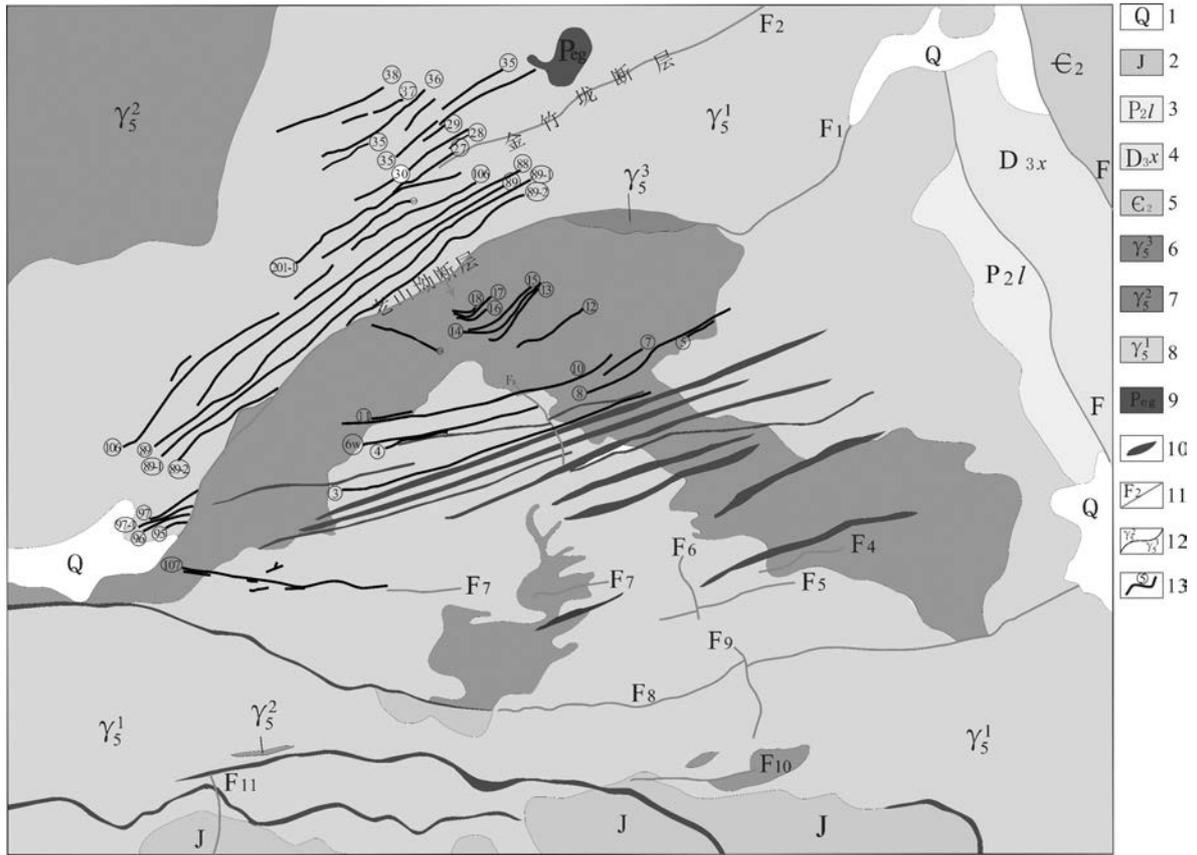


图3 邓埠仙矿区地质图

Fig. 3 Geological map of Dengbuxian tungsten deposit

1-第四系;2-侏罗系;3-二叠系龙潭组;4-泥盆系锡矿山组;5-寒武系中统;6-燕山晚期细粒白云母花岗岩;7-燕山早期中粒二云母花岗岩;8-印支期粗粒斑状黑云母花岗岩;9-似伟晶岩;10-岩脉及破碎带;11-断层及编号;12-岩体相带线;13-石英脉及编号。

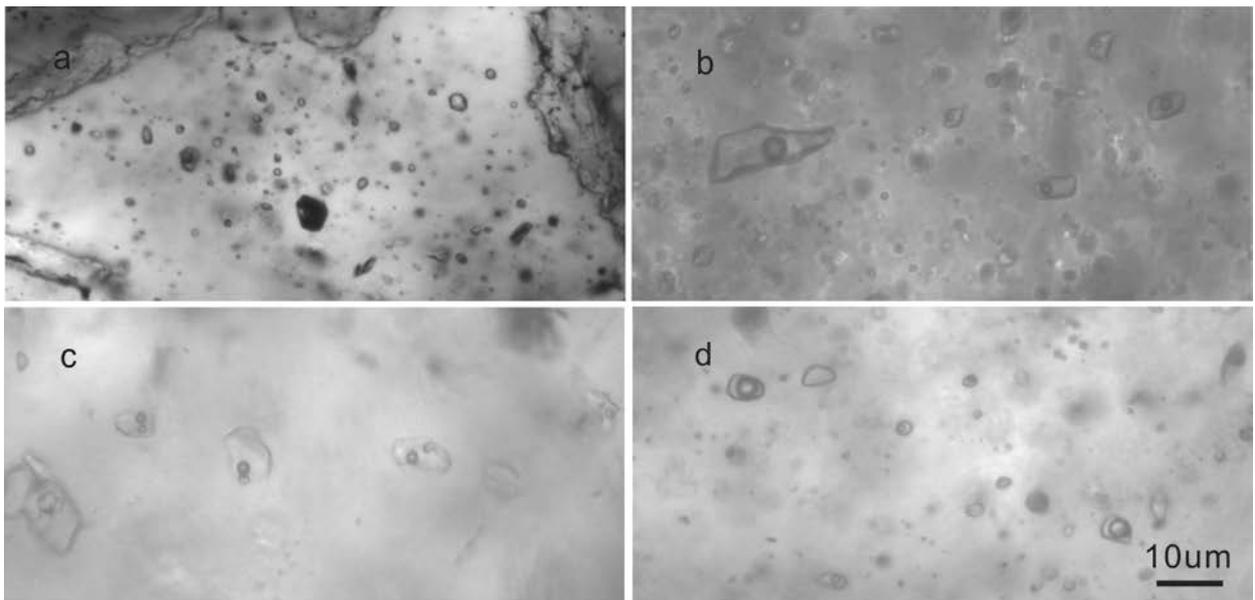


图4 邓埠仙钨矿床流体包裹体显微照片

Fig. 4 Micrographs of fluid inclusions in quartz from Dengbuxian tungsten deposit

a: Ia型包裹体;b: Ib型包裹体;c: Ic型包裹体;d: Id型包裹体。

通过对流体包裹体的镜下观察,我们发现,石英及萤石中都发育有大量的流体包裹体,在对邓埠仙矿区流体包裹体进行实验测温时,我们发现矿区包体的初融温度分布在 $-20.5\sim-22.4^{\circ}\text{C}$ 之间,为典型的 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 型包体,结合 Roedder(1984)^[8]和卢焕章等(2004)^[9]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,邓埠仙钨矿中的流体包裹体可分为以下四种类型:纯液相(L)单一相 $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ 包裹体(Ia)、富液相 L+V 两相 $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ 包裹体(Ib)、富气相包裹体(Ic)以及含碎屑颗粒包裹体(Id)。

a.纯液相(L)单一相 $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ 包裹体(Ia)包体个头较小,多为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$,在室温下呈纯液相产出,形态多为椭圆形及圆形,石英及萤石中均有分布,约占流体包裹体总数的 5%左右。

b.富液相 L+V 两相 $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ 包裹体(Ib)气相分数一般为 15%~30%;包体大小多集中在 $5\sim 10\ \mu\text{m}$,最大可见 $38\ \mu\text{m}$ 直径包体。形态分布包括负晶形、圆形、椭圆形、四边形及不规则状,贯穿所有成矿期次,此种包体约占流体包裹体总数的 85%以上。

c.含碎屑颗粒包裹体(Ic)在所测样品中,该类包裹体数目不多,仅占包裹体总数的比例约 1%,但在 16 片送样包裹体片中均有分布,此类包裹体在升温过程中直到包体爆裂,子矿物仍未消失,应为包裹体形成时被包裹进去的晶体。在室温条件下,碎屑颗粒形态清晰可见,从不规则状、四边形到半负晶形状均有分布,与 Ib 型包裹体相伴生。

d.富气相包裹体(Id)气相分数多在 60%以上,气液比变化较大,个别可见气相分数超过 95%的自由分布包体,个体相对较小,多集中在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$,以

圆形及椭圆形形态分布为主,镜下观察此种包体约占流体包裹体总数的 5%左右。

5 流体包裹体显微测温结果

流体包裹体显微测温分析在长江大学地球化学系教育部重点实验室流体包裹体室进行,仪器为英国产的 Linkam-MDS600 冷热台(温度范围 $-196^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$),分析精度为: $-196^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时,整体误差范围不超过 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$; $30^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时,整体误差范围不超过在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$; $300^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时,整体误差范围不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$;盐水体系的盐度、密度^[10]分别按文献计算。

测温开始阶段先用冷冻法将包体冷冻至 -100°C ,恒温等待 1min 左右,待包裹体完全冻结,以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率缓慢升温,在升温过程注意观测并记录有关相变点的温度。对于气液两相(I型)包体,我们主要观测和记录的数据有:初熔温度(T_m)冰点温度(T_m)均一温度(T_h)及均一相态。然后根据相关相变温度计算流体的盐度、密度和捕获压力等参数。本次测温共获得石英及萤石中 I 型包裹体,共 385 个实验数据。

5.1 I-型包体的均一温度、盐度与密度

测温工作主要是针对石英及萤石中 I 型包裹体。包裹体的测温结果见图 5。

由图 5、6 可知,包裹体的均一温度范围跨度较大,从 $110\sim 360^{\circ}\text{C}$ 均有分布(未经压力校正),且整体显示出多峰态特征,具有明显的多期次流体作用,从肉眼判断,大致可以分为 3 个温度区间,主要为:① $110\sim 170^{\circ}\text{C}$,低温成矿热液;② $170\sim 230^{\circ}\text{C}$,

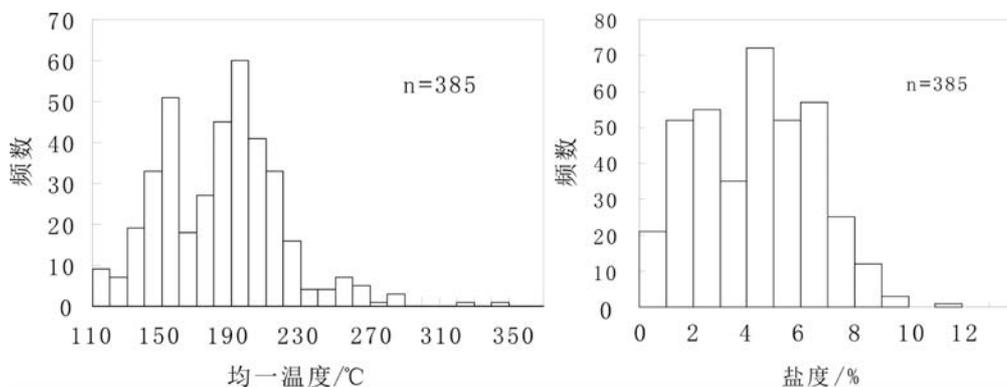


图5 邓埠仙钨矿床 I 型流体包裹体的均一温度(a)、盐度(b)分布直方图

Fig. 5 Histogram of homogenization temperature and salinity for type I fluid inclusions of Dengbuxian tungsten deposit

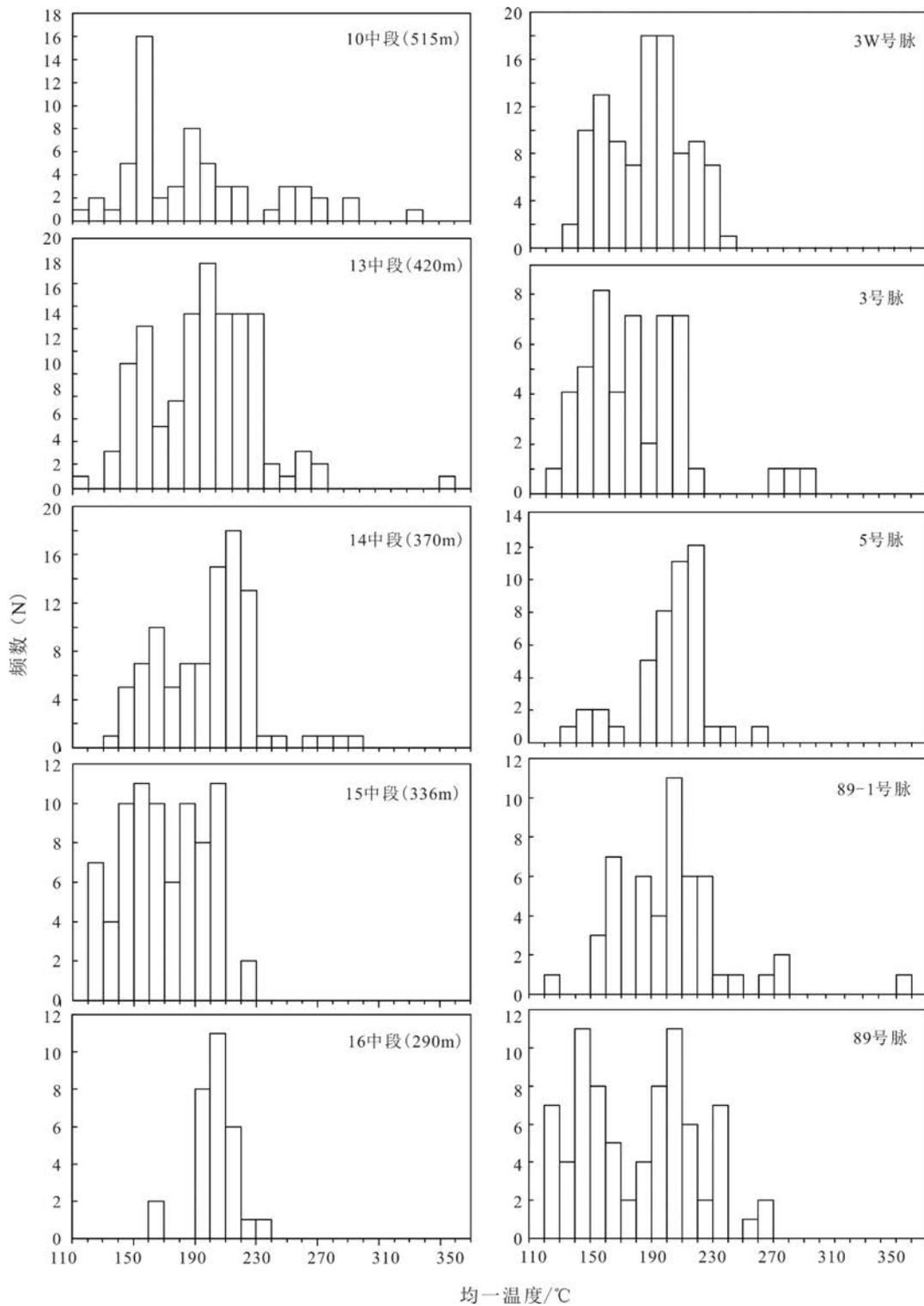


图6邓埠仙矿区各中段、矿脉I型流体包裹体均一温度直方图

Fig. 6 The homogenization temperature of type I from each level and each mineral vein in Dengbuxian Tungsten deposit

中低温成矿热液;③240~270℃,中温成矿热液。从盐度上看,成矿流体的盐度均小于12w_B%NaCleq,其中峰值为5w_B%NaCleq,总体上属于一种低盐度

流体。

5.2 均一温度的空间变化特征

对于石英脉型的黑钨矿,其矿物组合最明显的

特点是具有垂直分带性,因此,矿体的水平中段,通常能大致反映各成矿阶段特征,而水平中段温度的差异相对而言对于矿床成矿过程的温度变化也具有一定的代表意义^[4]。在邓埠仙矿区采样过程中,为了查明邓埠仙钨矿床成矿流体温度在空间上的分布规律,我们沿着老山坳断层的上下盘均匀的采集了样品,并分别按矿体和中段对均一温度进行了统计。涉及到的样品主要分布在 3W 号脉、89 号脉、89-1 号脉、5 号脉和 3 号脉,其中 3W 号脉涉及 13 中段和 15 中段、89 号脉涉及 15 中段和 16 中段、89-1 号脉涉及 13 中段,5 号脉和 3 号脉均采集 14 中段样品。将测试温度整理,依照中段和矿脉做以下均一温度直方图。

从图 6 可以看出邓埠仙矿床各个中段流体包裹体均一温度峰度区间虽然分布较宽整体重合度高,但随着采样标高的变化,从 515m 到 290m,其均一温度在高温区间的分布频数逐步减小,从底部向上温度逐渐增高,显示出逆向分带特征,这可能与邓埠仙矿区多阶段的构造作用,导致的构造裂隙发育,使得流体中的挥发组分逸散,一方面呈减压沸腾状态进入裂隙而涌入上部;另一方面成矿流体在垂直空间上活动,随着裂隙向深部的发展,由于高温流体活动性更强,因而运移到了更远的地方。而对于不同矿脉,虽然各含矿脉体在统计上频数不

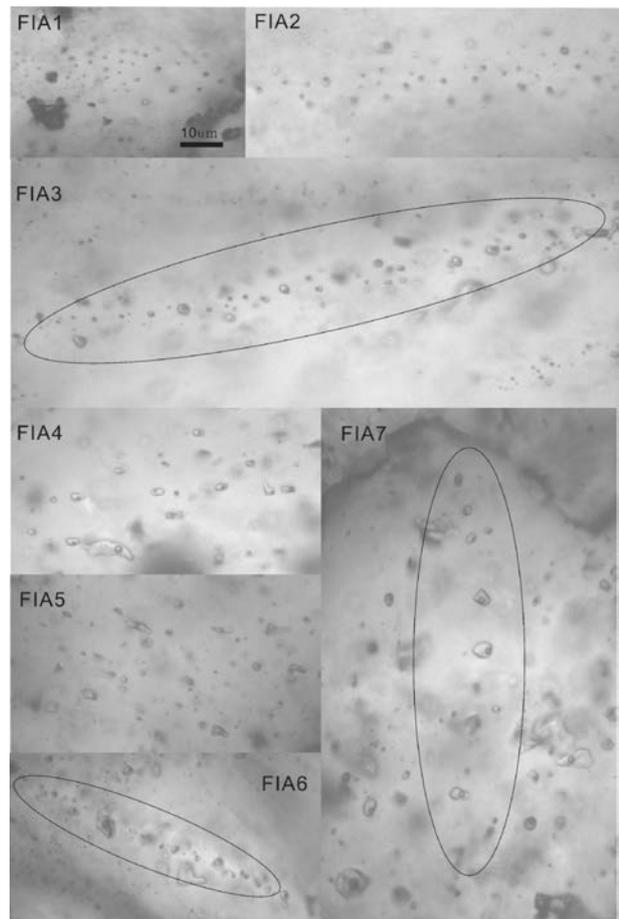


图7 邓埠仙钨矿床各类型流体包裹体组合

Fig. 7 Different Fluid inclusion Assemblage in Dengbuxian tungsten deposit

表1邓埠仙钨矿各包裹体组合显微测温结果

Table 1 Summary of microthermometric data for fluid inclusion Assemblage in Dengbuxian tungsten deposit

FIA	成因类型	包体类型	寄主矿物	产状	初融温度/°C	冰点温度/°C	均一温度范围/°C (包体个数)	平均均一温度/°C	盐度 w _B %NaCleq
FIA-1	原生	I	萤石	群体	-20.5	-1.4~-2	146.9~154.2(5)	150.7	2.41~3.4
FIA-2	原生	I	萤石	群体	/	-2.8~-3.5	180.7~187.9(4)	184.1	4.67~5.74
FIA-3	原生	I	石英	群体	-20.7	-1.5~-3.6	191.1~203.1(6)	196.8	2.58~5.89
FIA-4	原生	I	石英	定向	-21.3	-0.9~-5.7	204.4~216.3(5)	206.8	1.57~8.88
FIA-5	原生	I	石英	定向	-21.2	-1.6~-4.3	184.3~193.8(7)	187.2	2.47~6.92
FIA-6	原生	I	石英	愈合	/	-1.7~-2.9	136.2~143.6(5)	142.0	3.88~4.19
FIA-7	原生	I	石英	串珠	/	-2.5~-4	258.5~269.4(5)	263.1	4.19~6.48

同,但均一温度的分区区间也基本吻合,主要还是分为了三段,分别为以 150°C 为中值的区间,以 190°C 为中值的区间及以 260°C 为中值的区间,这与全矿区的总体分布特征也达到了一致,各矿脉温度段峰值吻合度良好,无明显温度差异,这可能指

示了随着时间的推移,成矿流体温度的降低是其成矿物质沉淀的主要因素。

5.3 包裹体组合显微测温结果

从图 5 可以看出,本区域钨矿床的流体包裹体均一温度范围较宽,为了提高数据的精准性,更好

的划分出该矿区成矿阶段流体期次, 本文从大量的包体中筛选出部分典型的流体包裹体组合其中萤石中的流体包裹体组合共筛选出了 2 组(FIA1~FI-A2), 石英中的流体包裹体组合共 5 组(FIA3~FI-A7)。流体包裹体组合的测温结果列于表 1 中。

可以看出, 邓埠仙钨矿的成矿流体的温度既有高温, 也有低温, 成矿过程具有鲜明的多阶段叠加成矿特点, 其至少经历了 3 期成矿阶段。第一阶段为 240~270℃, 因为成矿热液此时温度最高, 为成矿早期, 第二阶段为 180~210℃, 此时均一温度相对第一阶段偏低, 说明应是在第一期成矿后的第二阶段, 第三阶段为 140~160℃, 此时温度最低, 为最后一期热液活动。这与均一温度分布直方图中得到的结果是一致的。

5.4 成矿压力和成矿深度

由于本矿床只有 I 型包裹体, 无法进行压力的测试与计算。前人根据 Ab-Or-Q-H₂O 相图, 认为邓埠仙含矿岩体的形成压力约等于或略小于 100MPa^[12]。孙丰月(2000)^[13]认为, 成矿深度可以通过成矿压力估算求得, Roedder 和 Bodnar(1980)^[14]讨论了不同封闭环境中流体的压力, 他们认为在大多数自然环境中, 流体压力并不是由单一的静水压力或静岩压力构成, 而是他们之间的某个值。邓埠仙钨矿主要受断裂控制呈脉状产出, 矿区构造活动频繁, 其主断裂及次生的剪切裂隙群, 为石英脉型黑钨矿的充填提供了地质空间。同时矿脉并未延伸出地表, 因此, 矿脉处于相对封闭的环境中。因此在成矿压力确定成矿深度的换算过程中, 用静岩压力(27MPa/km)进行计算的结果更为合理可靠。通过成矿压力—成矿深度

换算可知: 邓埠仙钨矿的成矿深度约为 3.7km。

5.5 成矿温度

均一温度是两相及多相包裹体在人工加热升温的过程中转变成原来均匀单一相态时所记录的温度, 多在常温常压下测得, 并不能代表它真实的捕获温度。因此, 我们由均一温度推算捕获温度时要考虑压力的影响, 即: T_t (包裹体的真实捕获温度) = T_h (均一法测温所获得的流体包裹体均一温度) + ΔT (压力对温度的校正值)。Potter(1977)^[15]依据不同浓度的 NaCl 溶液的均一温度与压力的关系, 提出一份 P-T 校正图表, 本文数据的校正也采用这种方法。

由于邓埠仙钨矿矿床平均压力 100MPa, 得出 I 型包裹体的捕获温度比均一温度要高出约 80℃。经过校正, 邓埠仙矿床流体的捕获温度介于 190~430℃, 原生包裹体组合的捕获温度应为 220~240℃, 260~290℃, 320~350℃, 属于中—高温阶段。因此, 邓埠仙钨矿属于中高温热液矿床。

5.6 流体包裹体成分研究—显微激光拉曼光谱分析

显微激光拉曼光谱作为流体包裹体非破坏性分析的重要手段, 可以快速方便地对单个包裹体进行定性、半定量分析^[9]。激光拉曼光谱分析在中国地质科学院矿产资源研究所完成。仪器是英国产 Renishaw System-2000 型显微共焦激光拉曼光谱仪。实验条件: 温度 22℃; 湿度: 65%, 激发激光波长 514.53 nm; 激光功率 20mw; 激光束斑最小直径 1 μm; 光谱分辨率 1~2cm⁻¹。分析方法采用单个流体包裹体分析的技术方法。激光拉曼光谱的工作基本原理^[16]是在不同的频率下, 原子间键的振荡取决于所含原子的种类, 在强烈的激光束激发下, 样品产生散射的拉曼光谱射线, 然后测定这些射线, 从而确定物质成分。

本文对不同标高不同矿体以及不同成矿阶段的 5 个石英流体包裹体样品和 2 个萤石流体包裹体样品进行了激光拉曼光谱分析, 结果显示: 流体包裹体的液相成分主要出现寄主矿物石英的特征峰、萤石的特征峰及宽泛的液相 H₂O 的包络峰(图 9)。流体包裹体的气相成分除了寄主矿物石英的特征峰、萤石的特征峰及 H₂O 的包络峰外, 其他挥发分的含量也较少, 单个包裹体激光拉曼光谱测试中未发现其他气体成分。前人曾对赣南地区钨矿进行过为系统的流体包裹体研究^[17-22], 结果发现, 赣南钨

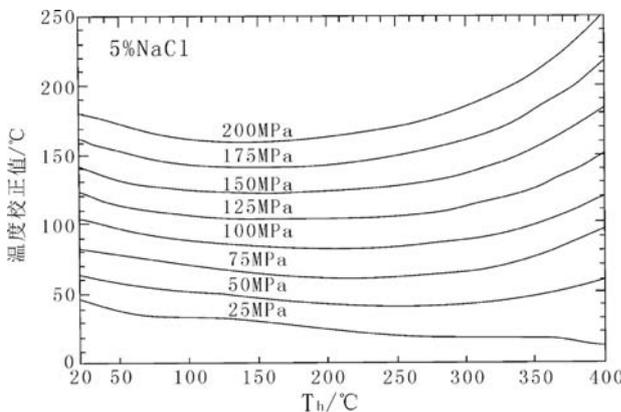


图8 邓埠仙矿区均一温度—压力校正图

Fig.8 the homogenization temperature correction with Pressure

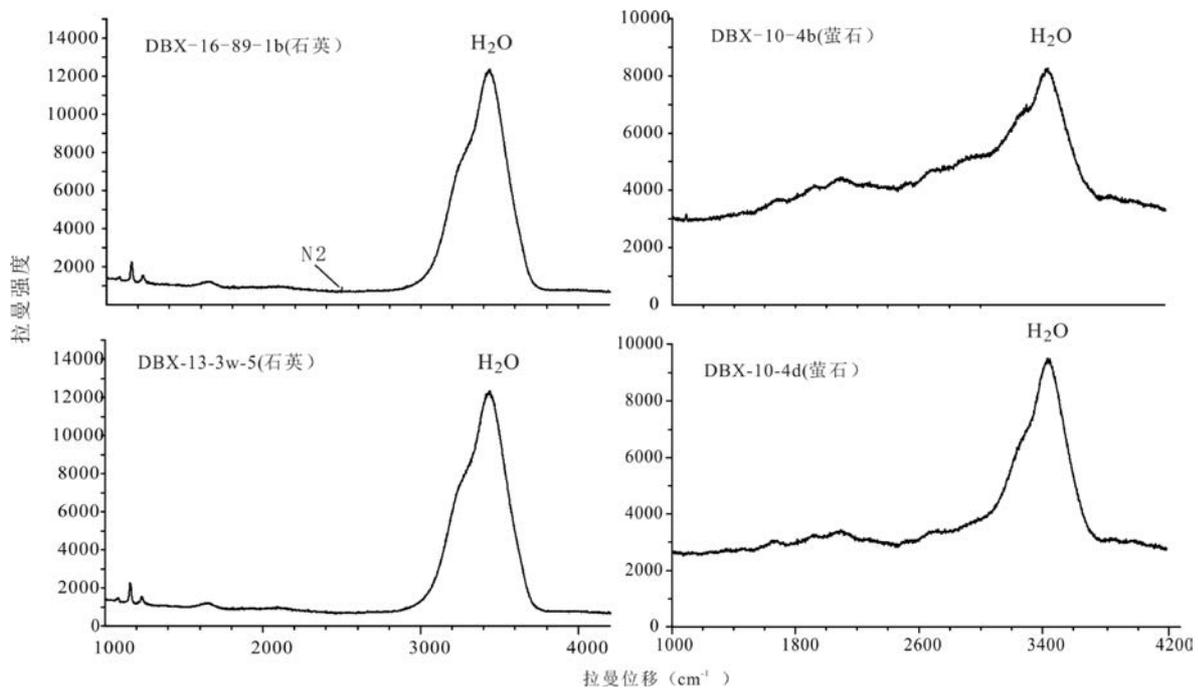


图9 邓埠仙钨矿主成矿阶段流体包裹体拉曼图谱

Fig. 9 Raman spectra of fluid inclusions in the main stage of mineralization of the Dengbuxian tungsten deposit

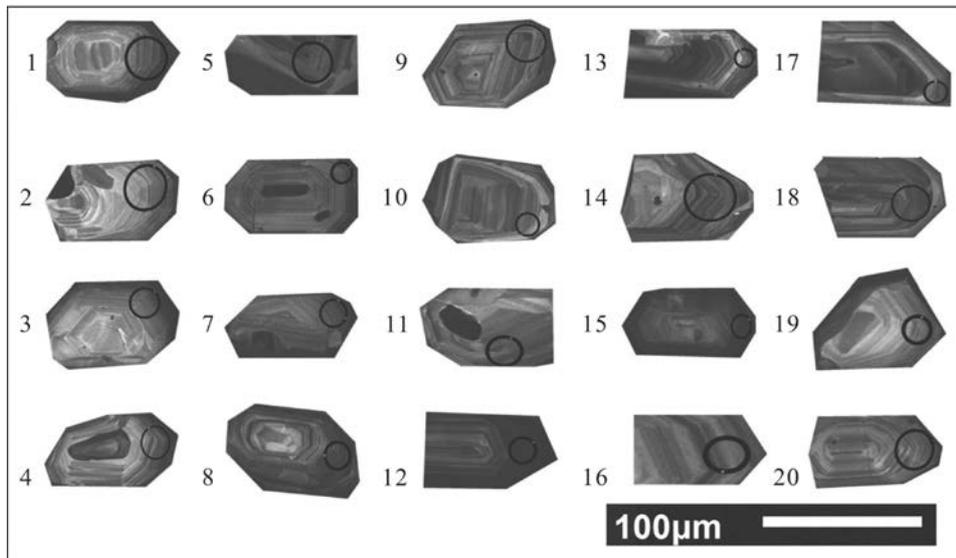


图10 邓埠仙中细粒二云母花岗岩锆石CL图像

Fig. 10 Cathodoluminescence images of zircons from Dengbuxian two-mica granite

矿成矿流体的一个重要特征是含有较多的 CO₂。本矿床与赣南钨矿在成矿流体性质上差异性还有待于进一步研究。

6 含矿岩体锆石 U-Pb 定年

对于邓埠仙矿区的成矿年龄，前人已经做过较

多的研究工作,如蔡杨利用 Re-Os 同位素定年方法,测得湘东钨矿的成矿年龄应在 $150.5 \pm 5.2 \text{ Ma}^{[23]}$;付建明调查了湖南锡田的云英岩-石英脉型钨锡矿,其等时线年龄为 $150 \pm 2.7 \text{ Ma}^{[24]}$;马丽艳采集了锡田垄上 21 号的 2 个钨锡矿体做 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定,结果分别为 $155.4 \pm 1.7 \text{ Ma}$ 和 $156.5 \pm 1.7 \text{ Ma}^{[25]}$ 。因此在邓埠仙钨矿的研究过程中,我们选择矿区内与

成矿关系密切的中粒二云母花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年。测年样品采自湘东钨矿 14 中段 3 号脉, 编号为 DBX-14-3-4。样品为具有弱的云英岩化。对其中的锆石单矿物经挑选及制靶后, 在国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室的 JXA-8800R 型电子探针上进行阴极发光 (CL) 照相 (图 10)。为使其尽可能准确的反映出岩浆作用和岩石形成时代, 在分析测试之前, 先根据 CL 图像选择合适的岩浆锆石颗粒进行定点。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年在国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成。所用仪器为 Finnigan Neptune 型 LA-ICP-MS 和与之配套的 Newwave UP-213 激光剥蚀系统。激光剥蚀束斑直径约 30 μm , 频率 10 Hz, 能量密度 2.5 J/cm², 并用 He 作为载气。在对锆石

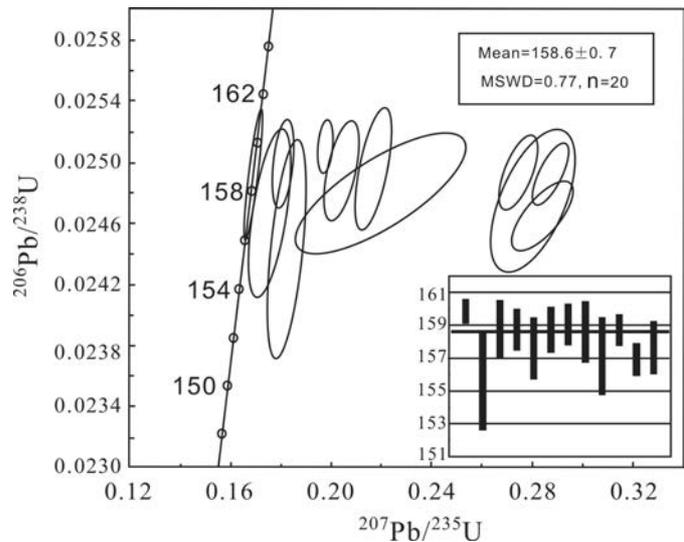


图 11 中细粒二云母花岗岩 DBX-14-3-4 锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 11 U-Pb Concordia diagram of zircon from two mica granite

表 2 邓埠仙中细粒二云母花岗岩 (DBX-14-3-4) 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 2 LA-ICP-MS U-Pb isotopic analyses of zircons from two-mica granite

测点 编号	$w_B/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$			Th/ U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	Pb	Th	U		比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ
1	169.4	279.0	292.3	0.95	0.05186	0.00086	0.17628	0.00292	0.02467	0.00013	164.8	2.5	157.1	0.8
2	1043	397.5	644.9	0.62	0.05722	0.00052	0.19808	0.00190	0.02511	0.00011	183.5	1.6	159.9	0.7
3	595.0	342.0	330.2	1.04	0.05428	0.00021	0.18266	0.00523	0.02443	0.00047	170.3	4.5	155.6	2.9
4	434.8	221.1	166.6	1.33	0.06328	0.00133	0.21752	0.00475	0.02494	0.00027	199.8	4.0	158.8	1.7
5	517.1	157.8	595.2	0.27	0.07997	0.00149	0.27494	0.00546	0.02493	0.00019	246.6	4.3	158.7	1.2
6	302.6	159.9	172.6	0.93	0.08224	0.00317	0.28028	0.00985	0.02475	0.00029	250.8	7.8	157.6	1.8
7	353.4	454.6	305.8	1.49	0.04874	0.001070	0.15468	0.00360	0.02301	0.00016	146.0	3.2	146.6	1.0
8	288.3	248.7	217.1	1.15	0.05942	0.00115	0.20426	0.00414	0.02493	0.00022	188.7	3.5	158.8	1.4
9	241.5	244.8	184.8	1.32	0.05192	0.00206	0.16685	0.00651	0.02332	0.00028	156.7	5.7	158.7	1.7
10	160.4	226.1	440.0	0.51	0.05239	0.00069	0.18041	0.00263	0.02498	0.00019	168.4	2.3	148.6	1.2
11	29.68	125.9	170.9	0.74	0.06654	0.00232	0.21612	0.00884	0.02353	0.00034	198.7	7.4	159.1	2.2
12	225.4	849.4	1551	0.55	0.04958	0.00024	0.17016	0.00189	0.02491	0.00029	159.6	1.6	149.9	1.8
13	73.68	166.9	169.5	0.98	0.08679	0.00225	0.27742	0.00769	0.02318	0.00026	248.6	6.1	158.6	1.6
14	115.4	304.2	276.0	1.10	0.05590	0.00093	0.18309	0.00299	0.02379	0.00029	170.7	2.6	147.7	1.9
15	43.25	108.8	153.9	0.71	0.05168	0.00171	0.17559	0.00569	0.02467	0.00037	164.3	4.9	151.6	2.3
16	106.1	151.6	324.9	0.47	0.08379	0.00131	0.28826	0.00528	0.02493	0.00014	257.2	4.1	158.7	0.9
17	106.5	201.5	185.1	1.09	0.08362	0.00184	0.28472	0.00716	0.02464	0.00015	254.4	5.7	156.9	1.6
18	47.08	133.1	162.1	0.82	0.06357	0.00514	0.21915	0.21063	0.02476	0.00025	201.2	17.5	157.7	1.6
19	1454	628.7	3408	0.18	0.11259	0.00117	0.39609	0.00519	0.02549	0.00013	338.8	3.8	162.3	0.8
20	241.1	535.6	335.4	1.60	0.05165	0.00071	0.16854	0.00247	0.02367	0.00014	158.1	2.1	150.8	0.9

U-Pb 测年实验过程中,并用澳大利亚 MacQuarie 大学大陆地球化学与成矿作用研究中心标定的 GJ-1 锆石($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 年龄为 610.0 ± 1.7 Ma)作为外部标准,对测试样品进行年龄校正。测试过程中,每测定 10 个样品前后重复测定两个锆石 GJ-1 对样品进行外标校正,并测定一个 Plesovice 锆石,观察仪器的状态以保证测试数据的精确度。采用 ICPMS DataCal 程序^[26]对数据进行分析处理,利用 EXCEL 宏程序 ComPbCorr#3-17 对普通铅校正进行校正。用 Isoplot 3.0 程序获得测试样品锆石 U-Pb 年龄谐和图^[27]。

样品 DBX-14-3-4 中的锆石透射光和 CL 图像显示锆石总体呈灰白色和淡棕色,透明到一半透明,具有特征的岩浆振荡环带,自形程度较好。该样品锆石在 CL 图像显示均呈灰白色(图 11)边部呈现灰色这可能是因为锆石高含量的 Th 和 U 的衰变所引起,从(表 2)所测锆石的放射性同位素比值和年龄数据可以得出,20 个测试点 Th 含量变化区间为 $108.81 \times 10^{-6} \sim 849.35 \times 10^{-6}$,其平均值 296.85×10^{-6} ,U 含量变化区间为 $166.6 \times 10^{-6} \sim 3408 \times 10^{-6}$,其平均值 504.3×10^{-6} 。锆石显示出较高的 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值 0.18 ~ 1.60,平均值 0.89,归属为典型的岩浆成因锆石^[28]。

从表 2 中 20 个测试点的数据得出 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 158.6 ± 0.7 Ma, MSWD=0.77,说明该数据的可靠程度较高,能够代表中细粒二云母花岗岩的形成时代,为燕山早期。

7 讨论与结论

对研究区流体包裹体的岩相学及测温表明,邓埠仙钨矿大量发育 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 型包裹体(I 型),并可进一步细分为纯液相(L) $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 包裹体(Ia)、富液相 L+V 两相 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 包裹体(Ib)、含碎屑颗粒包裹体(Ic)以及富气相 L+V 两相包裹体(Id),未发现含 CO_2 多相包裹体。拉曼探针进一步确定了邓埠仙钨矿中流体不含 CO_2 ,与测温结果及岩相学观察相吻合。这一特征与赣南地区钨矿的成矿流体有着明显的不同。

显微测温共收集到 385 个 I 型包裹体数据,温度的分布范围从 100~350℃,通过流体包裹体组合(FIA)的方法,结合所有包裹体的均一温度分布直

方图,邓埠仙钨矿区存在 3 期热液活动,其均一温度分别为 240~270℃、180~210℃、140~160℃。经过压力校正捕获温度应为 320~350℃、260~290℃、220~240℃,说明邓埠仙钨矿为中-高温热液矿床。

邓埠仙钨矿中包体数量众多,捕获的包体形态、大小及气液比差异较大,在同一寄主矿物(石英或萤石)中包裹体也体现出了均一温度的多峰态特征,而包体中的盐度虽然较低,但在同一期包体中,盐度也同样显示出较大的差异,如从 0.35~6.48 $w_B\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$,这表明成矿流体处于不均匀状态。

对于华南地区,侏罗纪与白垩纪交界曾是地球动力学调整的时间段,整个中国东部具有相同的地球动力场,区域地壳处于伸展-减薄的动力学环境下。李献华^[29]总结出华南白垩纪花岗岩浆活动与岩石圈伸展的密切联系,并划分出 164 ~ 153Ma, 146 ~ 136Ma, 129 ~ 122Ma, 109 ~ 101Ma 和 97 ~ 87Ma 等 5 次花岗岩侵位事件,也同时说明华南岩石圈出现过多次的伸展作用。以南岭为中心的华南成矿时间较长,其中 170 ~ 150Ma 是华南地区钨锡稀有矿床的一个成矿高峰期,南岭中部几个大型钨锡矿都是在这一时期形成^[30]。截止目前,邓埠仙钨矿所获得的较为精准的成矿年龄来自对邓埠仙钨矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄的测定为 150.5 ± 5.2 Ma^[23],邓埠仙岩体花岗质岩浆活动与成矿作用联系密切,对中粒二云母花岗岩锆石 U-Pb 测年结果显示,成岩年龄应为 158.6 ± 0.7 Ma,其成岩成矿时代均形成于燕山早期,应同属华南中生代大规模成矿作用的产物。

参考文献:

- [1] 易伟平,周冬梅.汝城钨矿床地质特征及边深部找矿预测[J].湖南有色金属. 2012, (04):1-5+23.
- [2] 王登红,陈毓川,陈郑辉,刘删宝,徐建祥,张家菁,曾载淋,陈富文,李华芹,郭春丽.南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究[J].地质学报,2007, (7):20-28.
- [3] 孙振家.邓埠仙钨矿成矿构造特征及深部成矿预测[J].大地构造与成矿学,1990,14(2):139-150.
- [4] 陈子龙,孙振家,杨楚雄.邓埠仙钨矿床地质地球化学特征及成因研究[J].中南大学学报,1991, 22(2):117-122.
- [5] 黄卉,马东升,陆建军,蔡杨,谢旭.湖南邓埠仙复式花岗岩体的锆石 U-Pb 年代学研究[J].矿物学报, 2011, (增刊): 190-191.
- [6] 刘国庆,伍式崇,杜安道,付建明,杨晓君,汤质华,魏君奇.

- 湘东锡田钨锡矿区成岩成矿时代研究[J].大地构造与成矿学,2008,32(1):63-71
- [7] 黄卉,马东升,陆建军,蔡杨,谢旭.湘东邓阜仙二云母花岗岩锆石U-Pb年代学及地球化学研究[J].矿物学报,2013(2):247-258.
- [8] Roedder E. Fluid inclusions [J]. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, 1984,12:644.
- [9] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体[M].北京:科学出版社,2004:406-419.
- [10] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions [J]. Economic Geology, 1988, 83(1): 197-202.
- [11] 汪群英.江西盘古山钨矿床成矿流体特征[D].武汉:长江大学,2012.
- [12] 宋新华,周珣若.邓阜仙花岗岩的构造环境、岩浆来源与演化[J].现代地质,1992,(4):458-469.
- [13] 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.
- [14] Roedder E, Bodnar R J. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies [J]. Annual Review of Earth and Planet Science, 1980, 8: 263-301.
- [15] Potter R W. Pressure corrections for fluid inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O [J]. Journal of Research of the US Geological Survey, 1977, 5(5):603-608.
- [16] 徐培苍,李如璧,等.地学中的拉曼光谱[M].西安:陕西科学技术出版社,1996:176-178.
- [17] 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.
- [18] 王旭东,倪培,张伯声,王天刚.江西盘古山石英脉型钨矿床流体包裹体研究 [J]. 岩石矿物学杂志,2010,29(5):539-550.
- [19] 胡东泉,华仁民,李光来,韦星林,黄小娥.赣南茅坪钨矿床流体包裹体研究 [J]. 高校地质学报,2011,17(2):327-336.
- [20] 汪群英,路远发,陈郑辉,彭相林,熊险峰.赣南淘锡坑钨矿床流体包裹体特征及其地质意义 [J]. 华南地质与矿产,2012,28(1):35-44.
- [21] 彭相林,路远发,陈郑辉,汪群英,熊险峰.江西大吉山钨矿床流体包裹体研究[J].矿产勘查,2013,4(3):289-297.
- [22] 叶诗文,路远发,童启荃,汪群英,陈郑辉,彭相林.盘古山钨矿成矿流体特征及其地质意义 [J]. 华南地质与矿产,2014,30(1):26-35.
- [23] 蔡杨,马东升,陆建军,黄卉,章荣清,屈文俊.湖南邓阜仙钨矿辉钼矿铼-钨同位素定年及硫同位素地球化学研究[J].岩石学报,2012(12):3798-3808.
- [24] 付建明,程顺波,卢友月,伍式崇,马丽艳,陈希清.湖南锡田云英岩-石英脉型钨锡矿的形成时代及赋矿花岗岩锆石SHRIMP U-Pb定年 [J]. 地质与勘探,2012,48(2):313-320.
- [25] 马丽艳,付建明,伍式崇,徐德明,杨晓君.湘东锡田垄上锡多金属矿床⁴⁰Ar-³⁹Ar同位素定年研究 [J]. 中国地质,2008,35(4):706-713.
- [26] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q, Wang D B. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U - Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1-2): 537-571.
- [27] Ludwig K R. User's manual for Isoplot/EX 2.49: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001, 1: 1-56.
- [28] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18(4): 423-439.
- [29] 李献华.华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展——地质年代学与地球化学限制[A]//中国科学院地球化学研究所.资源环境与可持续发展 [C]. 北京:科学出版社,1999:264-275.
- [30] 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄.华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展 [J]. 地学前缘,2004,11(1):45-55.