

江西大吉山钨矿床研究进展

王旗隆

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年3月10日; 录用日期: 2025年4月17日; 发布日期: 2025年4月27日

摘要

大吉山钨矿床为南岭众多钨矿床中较为特殊的矿床, “五层楼加地下室”的垂直分带模式为该矿床的一大特色, 前人对其做了许多研究, 积累了大量资料。通过系统总结前人研究成果, 文章取得了以下认识: ① 大吉山钨矿床形成于燕山早期, 为华南地区中生代大规模成矿作用(170~150 Ma)的产物; ② 矿区成矿为多期次、多阶段的演变过程 ③ 成矿物质主要来自于本区的花岗岩浆 ④ 成矿流体主要为岩浆, 后期则有大气降水混入; ⑤ 矿床为中高温矿床, 成矿流体有多期次、中-低盐度的特征, 钨矿形成与流体不混溶作用有关, 而铋钼矿形成则与流体自然冷却有关。⑥ 矿床花岗岩体为S型花岗岩, 有着高度分异演化程度。

关键词

钨矿床, 铋钼矿床, 研究进展, 大吉山, 江西

Study Progress of Dajishan Tungsten Deposit in Jiangxi Province

Qilong Wang

College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Mar. 10th, 2025; accepted: Apr. 17th, 2025; published: Apr. 27th, 2025

Abstract

The Dajishan tungsten deposit is a special deposit among most tungsten deposits in Nanling. The distribution pattern of veins in five-floor building and basement is a major feature of this deposit. Many studies have been done and a lot of data have been accumulated. By systematically summarizing the previous research results, the following conclusions are obtained. ① The Dajishan tungsten deposit was formed in the early Yanshanian period and was the product of large-scale Mesozoic mineralization (170~150 Ma) in South China. ② The ore-forming process has the multi-stage characteristics. ③ The ore-forming material mainly comes from the granitic magma in the area. ④ The

ore-forming fluid mainly comes from magma. ⑤ The deposit is a medium-high temperature deposit, and the ore-forming fluid has the characteristics of multi-stage and medium-low salinity. The formation of tungsten ore is related to fluid immiscibility, while the formation of niobium-tantalum ore is related to the natural cooling of fluid. ⑥ The granite of the deposit is S-type granite with a highly differentiated evolution degree.

Keywords

Tungsten Deposit, Niobium-Tantalum Deposit, Research Progress, Dajishan, Jiangxi

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 前言

大吉山钨矿床位于华夏板块罗霄褶皱带，地处钦杭结合带的东南侧[1](图 1，图 2)。该矿床自被发现以来，有多位学者对其矿床地质特征、成岩成矿时限、成矿阶段、成矿物质来源、成矿流体来源、流体包裹体特征、成矿条件等方面进行了大量的研究，本文对前人在大吉山钨矿床的研究成果进行了整理与总结，以期对矿区找矿提供新的研究方向。

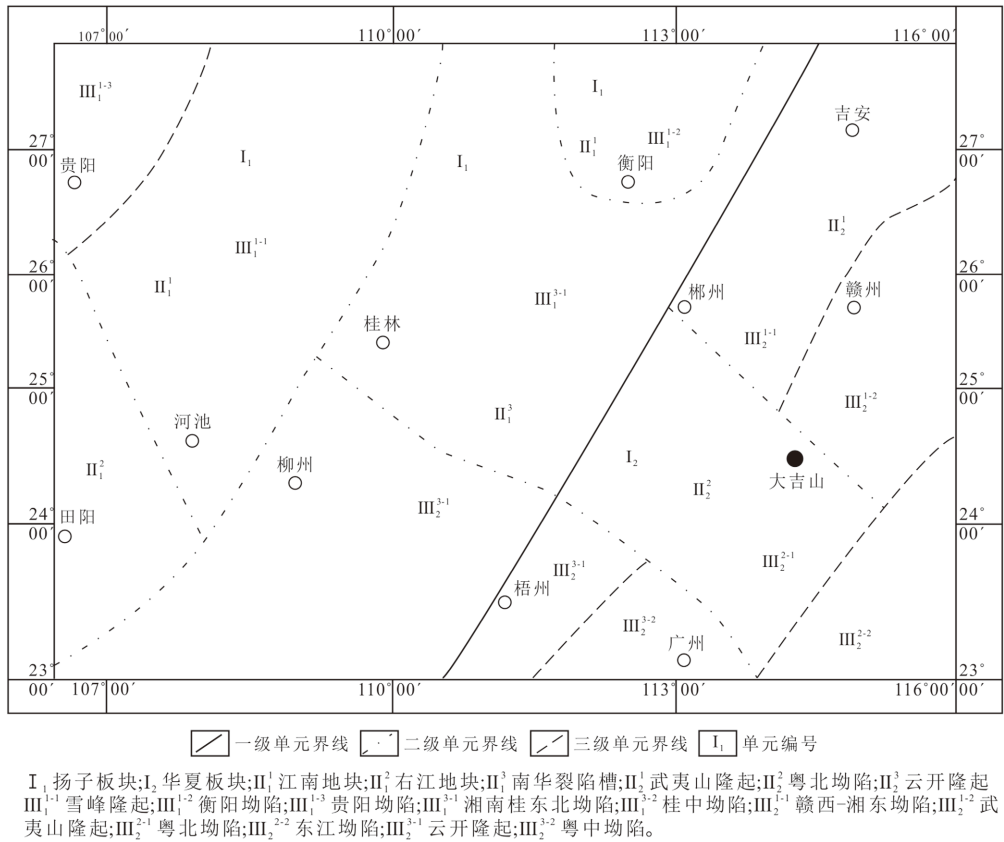


Figure 1. Regional tectonic map of Dajishan tungsten deposit [2]

图 1. 大吉山钨矿床区域大地构造位置图[2]

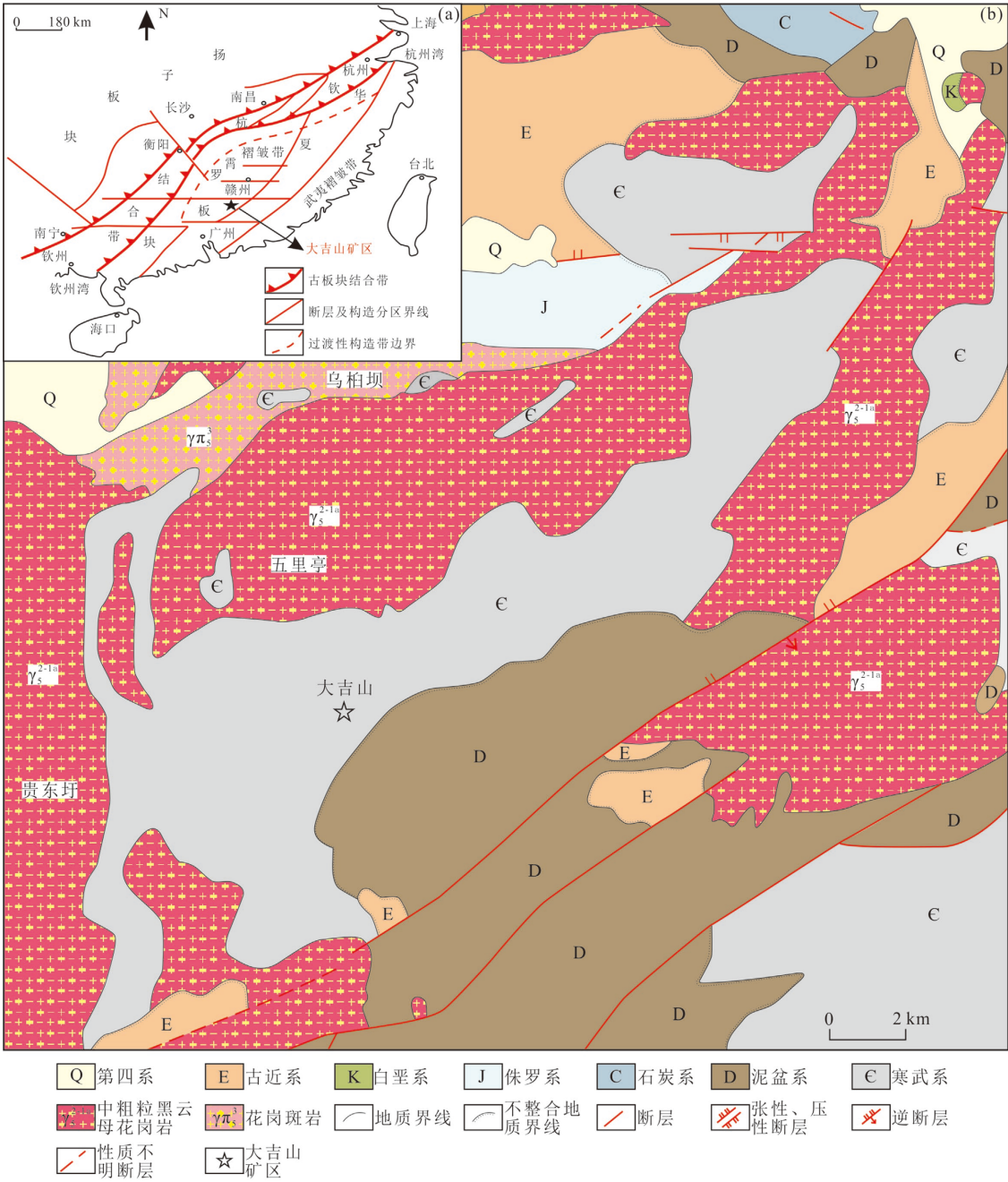


Figure 2. Regional and geological map of Dajishan tungsten deposit [2]
图 2. 大吉山钨矿床区域地质图[2]

2. 矿床地质特征

大吉山钨矿床为石英脉型钨矿床以及花岗岩型钨钼矿床共生的复合型矿床。区内断裂构造发育，岩浆活动强烈。矿区出露的地层，由新至老为：第四系、泥盆系以及寒武系(图 3)。第四系主要是残积、坡积物，其主要由围岩砾石与泥沙组成，多分布于山谷河沟之中。泥盆系中下统桂头群主要为粗粒砂岩、少量含砾砂岩及石英砾岩并夹少量电气石、绢云母，其分布在大吉山矿区的东南角。该地层与下伏的寒武系地层呈角度不整合接触，并且由于构造带附近构造运动的影响，多形成悬崖峭壁。寒武系为浅变质

砂岩、砂质板岩、板岩、千枚岩等互层，其在整个矿区都有分布，其中浅变质砂岩为主要赋矿围岩。由于受到多次构造运动的影响，寒武系地层的产状十分紊乱[3]。

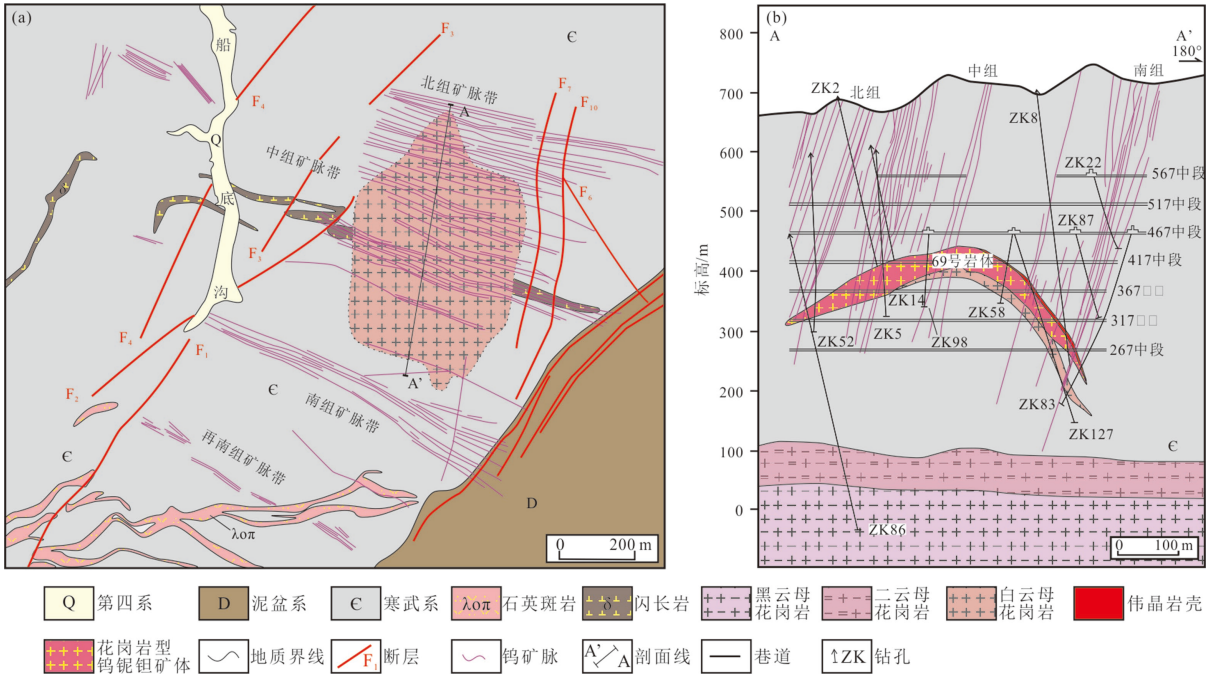


Figure 3. Geological map and Cross section map of Dajishan tungsten deposit [4] [5]
图 3. 大吉山钨矿床地质简图[4] [5]

矿区内断裂构造发育，与成岩成矿相关的构造均为断裂构造，按走向可将其分为四组，分别为东西向、北东向、北北东向以及北西西向。其中北东向断裂为矿区的主要控岩控矿构造，规模较大，并且在整个矿区都有分布。其经历过多次运动，性质较为复杂。北西西向构造发育有大量容矿裂隙，为矿区主要的容矿构造。二者构成了大吉山钨矿的楼梯状构造格架。除北西西组裂隙外，矿区的含钨石英脉容矿构造还有近南北组、东西组以及北东组。谢明璜等[6]对矿区的容矿裂隙进行了分析研究，认为是矿区东西两侧的北东向断裂带对北西西向容矿裂隙的形成与分布进行了控制，同时也对燕山期重熔花岗岩的侵入进行了控制。并发现北西西向容矿裂隙经历了扭→压→张的运动转化过程。

矿区内燕山期的岩浆活动强烈，与矿区内内生金属矿产的成因有着紧密联系[7]。由于燕山期岩浆活动的频繁，在矿区内形成了复式重熔型花岗岩。成矿期前有石英斑岩和闪长岩的侵入；成矿期形成中粗粒黑云母花岗岩(五里亭花岗岩) - 中细粒二云母花岗岩(大吉山主体花岗岩) - 细粒白云母花岗岩(大吉山补体花岗岩) - 伟晶岩、细晶岩；成矿后伴随有煌斑岩、安山玢岩、细粒闪长岩脉的侵入。白云母花岗岩侵位最高，二云母花岗岩次之，黑云母花岗岩侵位最低，多处于矿区深部[8]。

矿区的钨矿脉从地表至深部有着明显的由线脉带向细脉带薄脉带变化，再到大脉带直至尖灭的“五层楼”的垂直分布模式，而后在石英脉型钨矿体的底部又发现有花岗岩型钨钼铌矿体，因此大吉山钨矿床整体为“五层楼加地下室”的垂直分布模式(图 3)。

矿区共发育有钨矿脉 113 条，其中工业矿脉为 103 条。按矿脉的空间位置以及密集程度，可将其分为北组、中组、南组、再南组四组，由近平行且连续的数百条近东西向的石英脉组成，其中南组规模最大。矿区发现有钨钼铌矿化的花岗岩体，规模较大的有 69~73 号五个岩体，其中 69 号岩体为探明的具有工业开采价值的钨钼铌矿床。由于多年来的勘查开采工作，北、中、南三组矿脉以及 69 号岩体得到了充

分的揭露，并且积累了数量庞大的地质资料。而近年来对深部找矿工作的加强，使得该矿区的矿产勘查又取得了新的进展。在北组 104 线，钻孔在 250~340 m 标高处揭露了 23 号及 24 号脉，新发现的这两组矿脉其特征与矿物组合与上部中段的特征相同，表明深部仍有找矿空间。在南组矿脉以及北、南组的西缘推测有良好找矿前景，同时位于 69 号岩体下部的 70~72 号岩体也被认为有寻找钨铋钽矿的潜力[4]。

3. 矿床成因

3.1. 成岩成矿时限

前人对大吉山钨矿床做了大量的同位素年代学研究，主要为成岩年代学的研究，统计结果见表 1。前人对华南地区大规模成矿作用有着不同的看法，毛景文等[9]将华南地区大规模成矿作用分为了三个时间段，为 170~150 Ma，140~126 Ma 以及 110~80 Ma。而华仁民等[10]则将成矿作用时间段分为了 180~170 Ma，150~139 Ma 以及 125~98 Ma 三个阶段。通过多年来的进一步工作研究，毛景文等[11]认为南岭钨锡矿的成矿时代为华南中生代大规模金属成矿的缩影，并将其成矿阶段分为晚侏罗世 - 早白垩世(165~150 Ma)和中白垩世(130~90 Ma)，其中 165~150 Ma 为钨锡多金属矿的大爆发成矿期。通过前人的测年数据，可以看出大吉山钨矿床的形成时期刚好处于这一成矿爆发期内。

Table 1. Isotopic dating age for rock-forming and ore-forming stages of Dajishan tungsten deposit
表 1. 大吉山钨矿床成岩成矿时限

样品特点	测试对象	测试方法	测试结果/Ma	数据来源
黑云母花岗岩	全岩	Rb-Sr	167 ± 1	文献[12]
二云母花岗岩	全岩	Rb-Sr	161 ± 3	
白云母花岗岩	全岩	Rb-Sr	159 ± 5	
黑云母花岗岩	黑云母	K-Ar	160.3 ± 3.03	文献[13]
黑云母花岗岩	黑云母	K-Ar	164.2 ± 3.5	
二云母花岗岩	白云母	K-Ar	160. 6 ± 2.8	
含钨石英脉	白云母	K-Ar	152.6 ± 2.35	
含钨石英脉	白云母	K-Ar	158.1 ± 2.8	
黑云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	237.5 ± 4.8	文献[14]
黑云母花岗岩	锆石	U-Pb	238.4 ± 1	文献[15]
白云母花岗岩	锆石	U-Pb	151.7 ± 1.6	文献[16]
含钨石英脉	白云母	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	144.4 ± 0.5	
含钨石英脉	白云母	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	147.2 ± 0.6	文献[17]
含钨石英脉	辉钼矿	Re-Os	161.0 ± 1.3	
含钨石英脉	石英	Rb-Sr	150.9 ± 2.4	文献[2]
白云母花岗岩	铌钽铁矿	U-Pb	149.9 ± 1.7	文献[18]

前人对大吉山钨矿床的成岩、成矿年龄进行的同位素年代学研究的结果存在着较大的分歧。孙恭安等[12]通过全岩 Rb-Sr 等时线法测得三组成岩年龄，并以此将大吉山花岗岩体划分为了三期，为五里亭花岗岩体(黑云母花岗岩) (167 Ma)、大吉山主体花岗岩(二云母花岗岩) (161 Ma)以及大吉山补体花岗岩(白云母花岗岩) (159 Ma)。蒋国豪等[13]针对五里亭花岗岩体进行的 K-Ar 测年也得到了相似的结果。而后邱检生等[14]、张文兰等[15]分别利用锆石 LA-ICP-MS 以及单颗粒锆石 U-Pb 同位素的测年方法，得到五里亭花岗岩体的成岩年龄为 237.5 ± 4.8 Ma 以及 238.4 ± 1 Ma，说明其成岩时期为印支期，与传统认为的南岭地区和钨矿相关的岩体年龄主要为燕山期有很大出入，且大吉山主体与补体花岗岩的成岩时期也为燕

山期, 根据上述结果综合考虑, 五里亭花岗岩体与大吉山钨矿床的成矿没有直接成因关系, 在往后与大吉山钨矿有直接成因关系的岩体的讨论中只考虑大吉山主体与补体花岗岩。对于钨锡铌钽矿床, 传统观点认为成矿时间上为铌钽先形成, 钨锡后形成, 而空间分布上则为铌钽在下, 钨锡在上。由于大吉山补体花岗岩即为铌钽矿体, 所以其成岩年龄可近似认作为铌钽矿的成矿时间, 根据张文兰等[16]的测年数据不难看出, 大吉山钨与铌钽的成矿作用在时间上与传统的铌钽先形成, 钨锡晚形成的观点相符合。同时, 由于钨矿脉成矿时间晚于补体花岗岩的成岩时间, 则说明其相比大吉山主体花岗岩的成岩间要更晚, 表明钨的成矿作用时间和与之相关的花岗岩的成岩时间存在着一定的时间差。由于前人多使用间接的矿物年龄(如白云母年龄)去代替成矿年龄, 而没有对成矿年龄进行直接精确的测定, 张思明等[17]选择对含钨石英脉中采得的与黑钨矿共生的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素测年, 而 Liu 等[18]对 69 号花岗岩体中的铌钽铁矿进行了 U-Pb 测年, 其测年结果进一步证明大吉山钨矿床是华南地区大规模成矿作用产生的。

3.2. 成矿阶段

刘建平等[19]综合多方面因素, 将矿区的成矿过程划分为了 3 个成矿期, 8 个成矿阶段。各阶段特征如表 2 所示。其中 I₃ 为矿区铌钽矿的主要成矿阶段, 而整个 III 热液期为矿区钨矿的主要成矿期。李建平等[20]通过对矿区钨矿因子的研究, 发现钨有两期矿化, 在岩浆期有少量浸染状钨矿体形成, 而在热液期则为主要的钨矿化, 形成石英脉型钨矿体, 这与成矿阶段中的 I₃ 阶段以及 III₆ 阶段相对应, 也应证了对成矿阶段划分的合理性。在整个成矿的过程中, 成矿条件也一直在发生变化, 构造条件从相对封闭到相对开通变化, 而温度与压力也由高向低变化。酸碱性则由碱性变为酸性再到碱性, 氧化还原环境也发生了往复的变化, 由还原环境到氧化环境再到还原环境。

Table 2. Mineralization stages of Dajishan tungsten deposit [21]
表 2. 大吉山钨矿成矿阶段[21]

期	阶段	矿物共生特征	蚀变特征	成岩温度	成矿温度
I 岩浆期	I ₁ 含 TR 矿化花岗岩闪长岩	斜长石、微斜长石、条纹长石、石英、黑云母、磁铁矿、独居石、锆石、榍石、褐铁矿	弱钾长石化	640°C	
	I ₂ 含 Ta-Nb-TR 矿化二云母花岗岩	斜长石、微斜长石、条纹长石、石英、黑云母、白云母、独居石、磷钇矿、易解石、磷灰石	钾长石化 弱钠长石化	550°C	334°C
	I ₃ 含 Ta-Nb-W-Bc 白云母花岗岩	斜长石、微斜长石、条纹长石、白云母、石英、钠长石、石榴石、绿柱石、硅铍石、铌钽铁矿、细晶石、黑钨矿、白钨矿、云英岩化	钠长石化 白云母化	526°C	309°C
II 伟晶期	II ₄ 含 Be-(Rb)-W 矿化似伟晶岩	白云母、微斜长石、石英、绿柱石、黑钨矿	无	503°C 至 455°C	280°C 至 255°C
III 热液期	III ₅ 含 W-(Rb)-Be 长石石英脉	白云母、微斜长石、石英、绿柱石、黑钨矿	白云母化 硅化		293°C
	III ₆ 含 W-Be-Mo 石英脉	白云母、电气石、石英、绿柱石、含铍石榴石、黑钨矿、辉钼矿	白云母化 电气石化 萤石化 硅化		287°C
	III ₇ 含 W-Mo-Bi 石英硫化物脉	白云母、石英、黑钨矿、白钨矿、磁黄铁矿、黄铁矿、辉铋矿、自然铋、毒砂、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿	白云母化 萤石化 硅化		260°C
	III ₈ 含 W 石英碳酸盐脉	白云母、碳酸盐、萤石、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿	白云母化 碳酸盐化 绿泥石化		129°C

3.3. 成矿物质来源

前人通过稳定同位素的方法针对大吉山钨矿床的成矿物质来源进行了研究。庄龙池等[22]针对大吉山晚期碳酸盐脉中的方解石进行了碳同位素的测定，测量得到的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为-8.0‰以及-8.0‰，平均值为-8.1‰，并且根据前人研究所得出的结果，方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与体系内总碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 可视作一致，因此可以用-8.1‰作为体系总碳值，同时该结果与岩浆碳的同位素组成范围基本一致，因此庄龙池等[22]推测碳酸盐脉中碳的来源为本区花岗岩浆。与此同时，其也对前人针对大吉山黑钨矿石英脉及花岗岩中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 的测定结果进行了整理分析，发现矿区花岗岩以及黑钨矿石英脉中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围集中在-1.5‰~-3.5‰，并推测出矿区黑钨矿脉的成矿流体的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-2.23~-2.92‰，发现该值与矿区花岗岩中硫化物平均 $\delta^{34}\text{S}$ 相近，且与处于花岗岩中 $\delta^{34}\text{S}$ 范围内，据此，其认为黑钨矿石英脉中硫化物中的硫来源为本区花岗岩岩浆。刘卫明等[23]对大吉山钨矿床的含矿石英脉及花岗岩体也进行了硫同位素的研究。其中含矿石英脉中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为-2.72‰~-3.68‰，并且磁黄铁矿 > 黄铁矿，而花岗岩体中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为-1.03‰~-2.95‰，仅有辉铋矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-6.74‰，并且表现为黄铁矿 > 辉钼矿 > 辉铋矿。可以看出该测试结果也主要处于-1.5‰~-3.5‰的变化范围内，表明硫来源于单一火成源，并推测为本区花岗岩浆(表 3)。

Table 3. Sulfur isotopic composition of sulfides in Dajishan tungsten deposit
表 3. 大吉山钨矿床硫同位素组成

样品来源	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	资料来源
含矿石英脉	黄铁矿	-1.90	文献[22]
	黄铁矿	-3.30	
	磁黄铁矿	-2.92	
花岗岩体	黄铁矿	-1.58	
	黄铁矿	-1.58	
	黄铁矿	-2.96	
	辉钼矿	-2.42	
	辉铋矿	-6.74	
含矿石英脉	黄铁矿	-3.21	
	黄铁矿	-2.72	
	黄铁矿	-3.68	
	磁黄铁矿	-3.17	
	磁黄铁矿	-2.56	
	磁黄铁矿	-2.97	
	磁黄铁矿	-3.11	
花岗岩体	黄铁矿	-2.13	文献[23]
	黄铁矿	-1.71	
	黄铁矿	-1.03	
	磁黄铁矿	-2.81	
	辉钼矿	-2.95	
	辉钼矿	-1.88	
	辉铋矿	-6.74	

3.4. 成矿流体来源

氢、氧是地质流体的主要组成部分，不同来源的水有着不同的氢、氧同位素组成，因此氢、氧同位素组成可反应成矿流体中水的来源，对成矿流体来源进行示踪。由前人氢氧同位素测试数据(表 4)，得出大吉山钨铌钽矿床成矿流体 $\delta D = -106.8 \sim -48.4\text{‰}$ ， $\delta^{18}O_{H_2O} = -0.6 \sim 10.5\text{‰}$ 。由彭相林等[24]所做大吉山钨铌钽矿床 H-O 同位素图解(图 4(a))可以看出，投点小部分落入岩浆水区，大部分投点偏离岩浆水区域，向雨水线靠近，说明成矿流体来源不完全来自于岩浆水，而是有大气降水的混入。根据前人对赣南地区钨矿床氢氧同位素所做的研究，发现也存在有这种现象，如淘锡坑矿区[25]以及盘古山矿区[26]，其投点均落于岩浆水区与雨水线之间，有向雨水线方向靠近的趋势(图 4(b)、图 4(c))。据前人对矿区三个成矿期次的成矿流体的细致研究[22] [23] [27]，发现从岩浆期至伟晶期，石英的 $\delta^{18}O$ 值呈现上升的趋势。矿区自岩浆期至伟晶期属于正常的岩浆分异过程，其流体保持有初始混合岩浆水的特点。而热液期四个阶段的矿物和成矿流体 $\delta^{18}O$ 值则呈现出从早期到晚期不断下降的趋势，并且不同阶段成矿流体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 要远低于岩浆期及伟晶期，说明在热液期，矿区成矿流体失去了初始混合岩浆水的性质，变为了一种再平衡岩浆水。在热液期的前两个阶段，流体仍以再平衡岩浆水为主，只有极少量的大气降水的参与，而在后两个阶段，大气降水量不断增加，尤其是晚期碳酸盐脉阶段，成矿流体基本转变为以大气降水为主。综上所述，矿区的主成矿期成矿流体为岩浆水以大气降水混合而成。

Table 4. Hydrogen and oxygen isotopic composition in Dajishan tungsten deposit
表 4. 大吉山钨矿床氢 - 氧同位素组成

测试样品	t/°C	$\delta D/\text{‰}$	$\delta^{18}O/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{H_2O}/\text{‰}$	资料来源
石英	557~640	-60.7	11.9	10.5	文献[22]
石英	526	-73.5	11.2	9.1	
石英	/	-56.1	12.6	10.2	
石英	/	-56.3	13.5	10.3	
石英	337	-50.2	12.3	6.5	
石英	295	-51.5	11.2	4.1	
石英	277	-52.6	10.6	2.8	
黑云母	557~640	-89.5	7.1	10.5	文献[23]
全岩	557~640	-69.9	10.9	10.5	
全岩	550	-63.0	10.4	9.9	
全岩	526	-61.4	10.5	9.1	
石英	310	-48.4	12.4	5.79	
石英	320~450	-50.4	11.6	5.31~8.34	
黑钨矿	284	-106.8	7.9	-0.6	
黑钨矿	260	-100.5	8.1	-1.4	文献[24]
黑钨矿	264	-95.1	7.8	-1.5	
石英	178	-56.4	13.2	-1.2	
石英	337	-50.2	/	6.5	
石英	295	-48.8	/	4.1	
石英	277	-52.6	/	2.8	

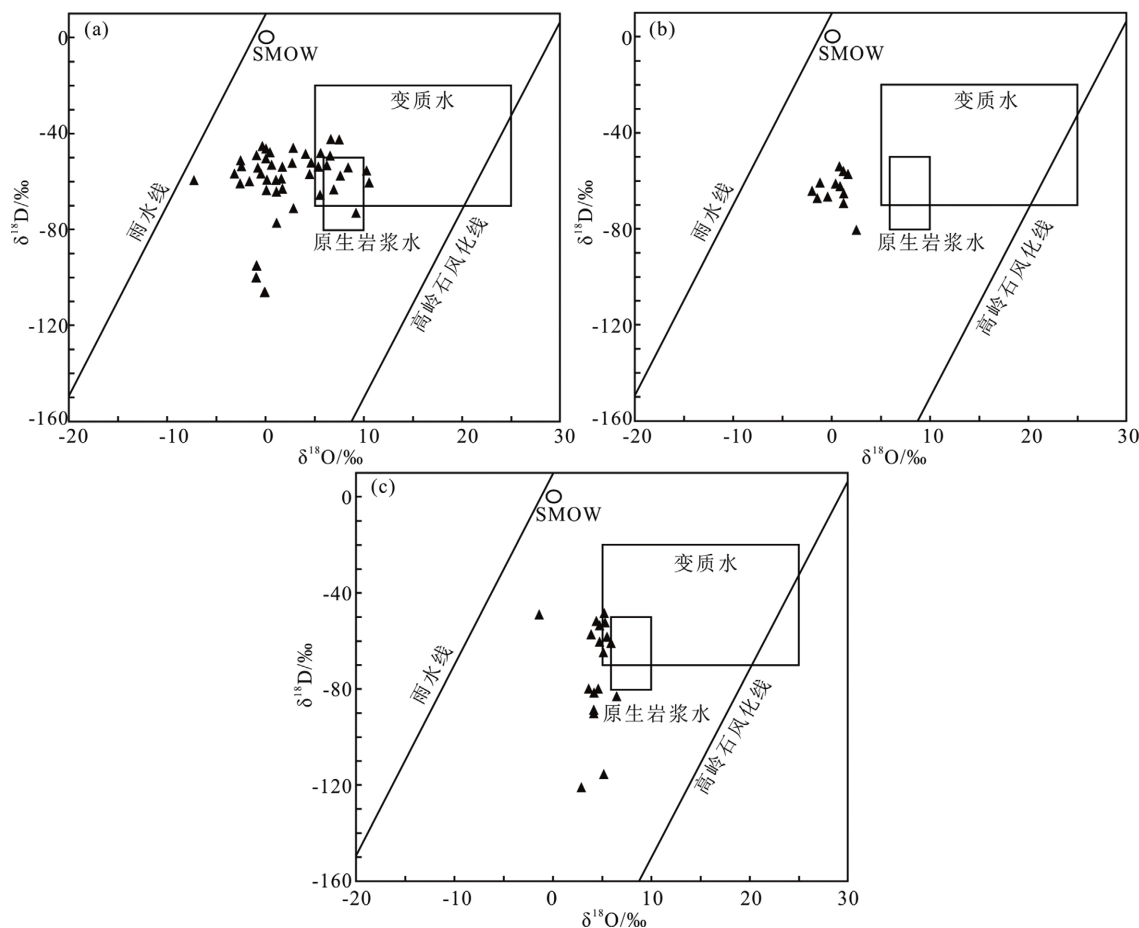


Figure 4. Diagram of hydrogen and oxygen isotopic composition of ore-forming fluid. (a) Dajishan tungsten deposit [24]; (b) Taoxikeng tungsten deposit [25]; (c) Pangushan tungsten deposit [26]

图 4. 钨矿床成矿流体 H-O 同位素组成图解。(a) 大吉山钨矿床[24]; (b) 淘锡坑钨矿床[25]; (c) 盘古山钨矿床[26]

3.5. 流体包裹体特征

流体包裹体是指矿物在形成的过程中被捕获的成矿介质, 通过对其形态、成因、成分等多方面的特征可以得到成矿过程中的温度、压力、化学组成、流体来源等多方面的物化信息[28]。前人针对大吉山钨矿床的流体包裹体进行了大量的研究, 取得了许多成果[29]-[31]。矿区含矿石英脉中的主要分为I型富液相气液两相包裹体、II型含 CO_2 、 CH_4 三相包裹体以及III型含固体子矿物包裹体。其中I型包裹体根据在矿脉中的产出方式可将其分为原生的I_a以及次生的I_b型两种。且各个类型的流体包裹体在形态、大小、分布特征等方面上都存在着较为明显的差异, 说明流体演化分阶段性[32]。综合前人的研究结果, 得出I型流体包裹体的均一温度为 $110^\circ\text{C}\sim 170^\circ\text{C}$ 、 $170^\circ\text{C}\sim 260^\circ\text{C}$ 、 $260^\circ\text{C}\sim 348^\circ\text{C}$, 盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $3.06\%\sim 10\%$; II型流体包裹体均一温度为 $230^\circ\text{C}\sim 270^\circ\text{C}$ 、 $270^\circ\text{C}\sim 330^\circ\text{C}$ 、 $330^\circ\text{C}\sim 370^\circ\text{C}$, 盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $0.2\%\sim 7.48\%$; III型流体包裹体中子矿物含量较少的包裹体表现出的行为和I型包裹体较为相似, 据此席彬彬等[32]认为子矿物为I型包裹体形成过程中碰巧捕获到的矿物颗粒。王旭东等[33]依据含矿石英脉中流体包裹体的分类, 将花岗岩钨铋矿体内石英中流体包裹体划分为了I_g型富液相气液两相包裹体、II_g型纯气相包裹体以及III_g型含固体子矿物包裹体。I_g型流体包裹体的均一温度为 $173^\circ\text{C}\sim 196^\circ\text{C}$ 、 $252^\circ\text{C}\sim 396^\circ\text{C}$ 、 $457^\circ\text{C}\sim 545^\circ\text{C}$, 盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $3\%\sim 8\%$; II_g型流体包裹体由于数量较少无法获得可靠数据; III_g型流体包裹体的均一温度为 $522^\circ\text{C}\sim 592^\circ\text{C}$, 盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $28.9\%\sim 38.1\%$ 。同时通过对显微测温结果的分析, 席彬彬等[32]认为成矿

流体经历了自然冷却、不混溶作用和混合作用等过程,多种过程的相互作用导致了钨的沉淀,并根据Ⅱ型包裹体的数据,获得成矿流体压力为 114~132 Mpa,形成深度为 4.6~5.3 km。彭相林等[24]根据Ⅱ型包裹体得到的成矿流体压力为 75.6~93.1 Mpa,形成深度为 2.91~3.58 km。王旭东等[33]根据流体包裹体的研究结果,认为石英脉型钨矿的成矿流体为中-高温、中-低盐度的 $\text{NaCl-H}_2\text{O-CO}_2\text{-CH}_4$ 体系,而花岗岩型钨铌钽矿体的成矿流体则为高温、中-低盐度的 $\text{NaCl-H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ 体系,并提出流体不混溶作用为矿区石英脉型钨矿的主要成矿机制,而流体自然冷却为花岗岩型钨铌钽矿体的主要成矿机制的观点。

3.6. 成矿条件

针对大吉山花岗岩体,前人对其进行了大量的研究[34]-[37]。矿区白云母花岗岩的主量元素测试结果表明,其具有高硅、富碱的特征,为铝过饱和岩石,且其 $\text{A/CNK} > 1.1$,判断其为 S 型花岗岩,围岩则属于强铝过饱和岩石。同时白云母花岗岩体属于钙碱性-碱性岩,围岩则为钙碱性岩。由微量元素测试结果,发现白云母花岗岩体中大离子亲石元素及高场强元素富集,如 Rb、Nb、Ta。在 Ta、Nb 含量高的同时, Ta 的含量也远超 Nd 的含量,这代表着矿区白云母花岗岩有着高度的分异演化程度,并且这也为形成铌钽矿化提供了重要的物质基础。岩体中 Ga 的含量也较高,其也可反映出白云母花岗岩体具有较高的分异演化程度。而与花岗岩体相比,围岩的 Rb 及 Ta 的富集程度较弱,而 Zr 的富集程度要更强,显示出其分异演化程度要低于花岗岩体。李建平等[20]发现矿区微量元素中有两组具明显意义,其中一组为以 Au、Ag、Bi、Cu、Pb、Zn 为特征的硫化物组合,其反映了成矿后期的硫化物组合,而另一组则为以 Rb、Cs、Li 等为代表的亲石元素组合,反映了矿区的岩浆活动,这两组微量元素组合反映出的现象可与前人划分的成矿阶段对应。对岩体的稀土元素分析结果表明,大吉山白云母花岗岩的 ΣREE 较低,轻重稀土元素的分异明显,轻稀土元素较为富集,重稀土元素亏损,特别是 Tm 异常亏损,同时表现有强烈的 Eu 负异常。其稀土分配曲线现出略向右倾的海鸥型分布,同时表现出明显的稀土元素四分组效应,这一现象也表明岩体有着较高的分异演化程度且在岩浆结晶的晚期有流体-熔体的相互作用的发生。围岩则表现出 ΣREE 较高,强烈富集轻稀土, Eu 负异常。

4. 存在的问题

在总结大吉山钨矿床研究进展的基础上,本文认为大吉山的研究还存在有以下几点值得进一步研究。

(1) 针对大吉山钨矿床成岩成矿的时限的问题主要集中在黑云母花岗岩(即五里亭花岗岩)的年龄上,获得的年龄数据有较大差异,且近年来并没有针对黑云母花岗岩的年龄进行其他测年技术的应用,因此本文认为针对矿区黑云母花岗岩的年龄可以再使用其他精准测年方法如独居石 U-Pb 测年进行测年,并与前人所得的测年数据进行对比验证。

(2) 对成矿花岗岩进行成分分析或是利用对花岗岩中副矿物进行成分分析,确定花岗岩的地球化学特征。

(3) 对成矿花岗岩进行 Sr-Nd 同位素等研究,分析花岗岩的岩浆源区。

(4) 目前在大吉山矿区上钨下铌钽的“五层楼加地下室”的特殊垂直分带模式的形成问题上还没有较为深入的研究,可通过研究大吉山矿区的构造演化或是流体的演化过程等方面进行研究,从而更好的分析该特殊分带模式。

5. 结论

综上所述,大吉山钨矿床目前的研究进展主要有:①大吉山钨矿床形成于燕山早期,为华南地区中生代大规模成矿作用(170~150 Ma)的产物;②矿区成矿为多期次、多阶段的演变过程,其被分为了三期八个阶段,其中 I_3 阶段为矿区铌钽矿的主要成矿阶段,而热液期则为矿区钨矿的主成矿期 ③矿区花岗

岩以及黑钨矿石英脉中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围集中在 -1.5‰ ~ 3.5‰ ，表明硫来源于单一火成源，因此认为成矿物质主要来自于本区的花岗岩浆 ④ 成矿流体自岩浆期至伟晶期保持有初始混合岩浆水的特点，而在热液期则有大气降水的混入，矿区主成矿期的成矿流体为岩浆水与大气降水混合形成；⑤ 矿床为中高温矿床，石英脉型钨矿的成矿流体为中-高温、中-低盐度的 $\text{NaCl-H}_2\text{O-CO}_2\text{-CH}_4$ 体系，而花岗岩型钨铌钽矿体的成矿流体则为高温、中-低盐度的 $\text{NaCl-H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ 体系，流体不混溶作用为矿区石英脉型钨矿的主要成矿机制，而流体自然冷却为花岗岩型钨铌钽矿体的主要成矿机制 ⑥ 矿床花岗岩体具有高硅、富碱的特征，为 S 型花岗岩，稀土元素分布出现四分组效应，有着较高的分异演化程度。

参考文献

- [1] 万天丰. 华南大地构造与内生金属矿床的找矿前景[C]//中国矿物岩石地球化学学会. 第二届全国成矿理论与找矿方法学术研讨会论文集. 武汉: 中国地质大学, 2004: 144.
- [2] 张思明. 江西省大吉山钨矿床的矿物学研究及矿床特征[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [3] 周利敏. 江西省全南县大吉山钨矿构造应力场数值模拟与成矿预测[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- [4] 吴明珠, 邱凯, 谢明璜. 江西大吉山钨多金属矿勘查新进展与资源潜力[J]. 中国钨业, 2019, 34(5): 1-5.
- [5] Cui, J., Ni, P., Peng, Z., Pan, J., Li, W., Ding, J., et al. (2023) Tungsten Mineralization Formed by Single-Pulsed Magmatic Fluid: Evidence from Wolframite-Hosted Fluid Inclusion from the Giant Dajishan “Five Floor” Style W-Polymetallic Deposit. *Ore Geology Reviews*, **157**, Article ID: 105472. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105472>
- [6] 谢明璜, 郭家松, 王定生. 江西大吉山钨矿容矿裂隙演化及与成矿关系探讨[J]. 中国钨业, 2011, 26(5): 1-5.
- [7] 李国荣, 廖铭铨, 廖崇安. 大吉山钨矿地质特征及成矿地质条件分析[J]. 资源信息与工程, 2017, 32(5): 30-32.
- [8] 王军升, 王玉往, 龙灵利, 等. 江西大吉山钨矿地质特征及成矿机制[J]. 矿产勘查, 2014, 5(2): 249-256.
- [9] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 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(1): 45-55.
- [10] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005(2): 99-107.
- [11] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007(10): 2329-2338.
- [12] 孙恭安. 江西大吉山钨、铌、钽矿床. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [13] 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究[J]. 矿物学报, 2004(3): 253-256.
- [14] 邱检生, McInnes BIA, 徐夕生, 等. 赣南大吉山五里亭岩体的锆石 LA-ICP-MS 定年及其与钨成矿关系的新认识[J]. 地质论评, 2004(2): 125-133.
- [15] 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 江西大吉山五里亭花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义探讨[J]. 地质学报, 2004(3): 352-358.
- [16] 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 2006(7): 956-962.
- [17] 张思明, 陈郑辉, 施光海, 等. 江西省大吉山钨矿床辉钼矿铼-钨同位素定年[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 1113-1121.
- [18] Liu, F., Che, X., Hu, H., Zhang, W. and Lu, J. (2019) New Nb-Ta Mineralization Age of the Dajishan W-Nb-Ta Deposit in Jiangxi Province, South China. *Acta Geologica Sinica—English Edition*, **93**, 485-486. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13835>
- [19] 刘建平, 滕建德. 江西大吉山矿区成矿(矿化)阶段的研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2007(3): 16-19.
- [20] 李建平, 张德会. 江西大吉山钨矿因子特征及邻区成矿预测[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(4): 303-309.
- [21] 刘向冲. 江西大吉山石英脉型黑钨矿床“五层楼”垂直形态分带动力学机制[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [22] 庄龙池, 林伟圣, 谢廷焕. 大吉山钨矿的稳定同位素地球化学[C]//宜昌地质矿产研究所. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所文集(16). 北京: 地质出版社, 1991: 12.
- [23] 刘卫明, 钟盛文. 大吉山钨矿床成矿的新认识[J]. 矿产与地质, 1996(6): 47-52.

-
- [24] 彭相林, 路远发, 陈郑辉, 等. 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.
- [25] 宋生琼, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 赣南崇义淘锡坑钨矿床氢、氧、硫同位素地球化学研究[J]. 矿床地质, 2011, 30(1): 1-10.
- [26] 赵云彪, 方贵聪. 江西盘古山钨矿床研究进展[J]. 矿产与地质, 2020, 34(5): 845-854.
- [27] 张国新, 谢越宁, 虞福基, 等. 江西大吉山钨矿床不同成矿阶段稳定同位素地球化学[C]//中国地质学会同位素地质专业委员会, 中国矿物岩石地球化学学会同位素地球化学专业委员会, 地质矿产部同位素地质开放研究实验室. 第六届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文集. 中国科学院广州地球化学研究所, 美国普渡大学地球与大气科学系, 1997: 208-210.
- [28] 李晓东, 张艳, 韩润生, 等. 流体包裹体研究进展及其在矿床学中的应用[J]. 地质论评, 2022, 68(6): 2305-2318.
- [29] 卢焕章, 施继锡, 喻茨玫. 华南某矿区成岩成矿温度的研究[J]. 地球化学, 1974(3): 145-156.
- [30] 卢焕章, 施继锡, 喻茨玫. 某含钽铌花岗岩成岩成矿温度的研究[J]. 地球化学, 1975(3): 210-221+233-234.
- [31] 马秀娟, 陈伟十. 大吉山石英脉型钨矿床包裹体研究及矿床成因的进一步探讨[C]//中国地质科学院矿床地质研究所文集(11). 北京: 地质出版社, 1984: 13.
- [32] 席斌斌, 张德会, 周利敏, 等. 江西省全南县大吉山钨矿成矿流体演化特征[J]. 地质学报, 2008(7): 956-966.
- [33] 王旭东, 倪培, 袁顺达, 等. 江西大吉山钨多金属矿床流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 2013, 32(2): 308-322.
- [34] 华仁民, 张文兰, 陈培荣, 等. 赣南大吉山与漂塘花岗岩及有关成矿作用特征对比[J]. 高校地质学报, 2003(4): 609-619.
- [35] 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 大吉山花岗岩体黑云母地球化学特征及其成岩成矿意义[J]. 矿物岩石, 2005(1): 58-61.
- [36] 左梦璐. 江西雅山与大吉山两类稀有金属花岗岩成矿差异性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [37] 吴鸣谦. 江西宜春(四一四)和大吉山矿床的矿物学、地球化学及成矿作用研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.