

论岩浆热液矿床的成矿期

——以南岭地区燕山期钨矿为例

汪相¹⁾, 楼法生²⁾

1) 南京大学地球科学与工程学院, 南京, 210023; 2) 江西省地质调查研究院, 南昌, 330030



内容提要: 中国岩浆热液型钨矿主要赋存在南岭地区的燕山期花岗岩体内部或周围。目前, 尚无法精准地测定此类钨矿的成矿年龄, 统计上, 得出两期钨成矿作用: 150~160 Ma (主成矿期) 和 130~140 Ma (次成矿期), 然而, 这困扰了对南岭钨成矿作用及其与花岗岩关系的理解。笔者等将综合分析各种最新资料, 对成矿母岩、深部岩浆房和成矿机制开展系统的讨论, 从而针对南岭钨矿的成矿模式给出明确的判断: ① 燕山早期呈岩基、岩株状的黑云母二长花岗岩不是南岭钨矿的成矿母岩, 150~160 Ma 的年龄值不是钨成矿作用的年龄值; ② 燕山晚期呈岩株、岩瘤、岩脉状的二云母/白云母碱长花岗岩是潜在的钨源载体, 但其体积太小, 也无法满足成矿母岩要求; ③ 当组合燕山早期主体花岗岩 (黑云母二长花岗岩)、燕山晚期补体花岗岩 (二云母/白云母碱长花岗岩) 和燕山晚期钨矿三者为一体时, 一种新颖的成矿模式被构建起来: 一个长期存活的深部岩浆房可以分异出富含成矿物质的残余岩浆; 当这种岩浆沿着张性断裂快速侵位时, 将发生流体—熔体之间的溶离作用, 碱性硅质流体形成含黑钨矿的石英脉, 而强硅铝质熔体固结为二云母/白云母碱长花岗岩; ④ 130~140 Ma 的二云母/白云母碱长花岗岩与黑钨矿石英脉是一对同源分体, 两者的同步出现充分展示了成矿物质“源—运—储”的完整过程。该认识不仅可以合理地解释与岩浆热液矿床有关的多种地质现象 (如“小岩体成大矿”), 而且更新了岩浆热液成矿作用理论, 更加重要的是为找矿勘探提供了确切的指导方向。

关键词: 南岭; 钨矿; 成矿期; 成矿母岩; 岩浆房

花岗岩浆的结晶分异作用导致亲花岗岩的金属元素 (如: W、Sn、Be、Li、Mo、Nb、Ta 等) 从岩浆中伴随着气水溶液分泌出来 (即成矿过程三部曲“源—运—储”之“源”), 并在“运与储”的有利条件下, 形成这些金属元素的岩浆热液矿床 (翟裕生等, 2011)。南岭地区出露了巨量的燕山期花岗岩 (中国科学院地球化学研究所, 1979), 其内部 (或外接触带) 赋存了大量的岩浆热液型钨矿, 因此, 花岗岩与钨矿之间被认为有着直接的成因联系 (地质矿产部南岭项目花岗岩专题组, 1989)。

同一次造山运动可以形成两期花岗岩: 同造山花岗岩和造山后花岗岩 (李献华等, 1997; 肖庆辉等, 2002)。在南岭地区, 燕山运动引起的同造山花岗岩发生在燕山早期, 而造山后花岗岩发生在燕山晚期 (李献华等, 1997; 毛建仁等, 1997; 邓平等, 2002)。所谓“燕山早期”和“燕山晚期”, 笔者等综合构造学和岩石学资料后认为, 南岭地区燕山运动

的挤压作用始于 ~165 Ma (董树文等, 2007), 构造应力场转变 (从挤压向伸展) 发生在 ~140 Ma (李献华等, 1997), 伸展作用终于 ~130 Ma (许以明等, 2011)。因此, 南岭地区的燕山早期介于 ~165 Ma 与 ~140 Ma 之间, 而燕山晚期介于 ~140 Ma 与 ~130 Ma 之间。相对于南岭燕山期花岗岩的侵入时间范围, 南岭地区与花岗岩有关的钨矿的形成年龄却有着难以置信的跨度, 其中最大成矿年龄为 175.8 ± 4.1 Ma (湖南宜章瑶岗仙钨矿; 王登红等, 2009), 最小成矿年龄为 113.2 ± 2.0 Ma (广西钟山长营岭钨锡矿; 李华芹等, 1993)。尤其费解的是, 在单个钨矿体内也可测到差别极大的成矿年龄, 如: 江西大余西华山钨矿“有三期成矿作用, 分别为 155 Ma、146 Ma 和 137 Ma” (李晓峰等, 2008), 江西崇义天门山钨矿的“成矿时代跨度为 133~156 Ma” (曾载淋等, 2009), 等等。这些离散的成矿年龄很难与成矿花岗岩的定位年龄精准地对接起来, 以致于至今无法

注: 本文为国家自然科学基金资助项目 (编号: 41872047) 的成果。

收稿日期: 2021-10-30; 改回日期: 2021-12-27; 网络首发: 2022-01-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.01.055

作者简介: 汪相, 男, 1960 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事花岗岩及其成矿作用研究; Email: xwang@nju.edu.cn。

确定一个真实的大规模成矿作用时间。造成这种困境的主要原因,可以归结为目前的成矿年龄测定方法的精准度较差,如:全岩或矿物 Rb-Sr 法和 Sm-Nd 法、长石或云母 K-Ar 法和 Ar-Ar 法、硫化物 Re-Os 法、矿石矿物(锡石、黑钨矿、Nb—Ta 氧化物) U-Pb 法等,每种方法都有各自的弱点(如:同位素体系的低封闭温度、所测同位素丰度偏低、离散的同位素初始值、易受后期热液作用的扰动等),这是目前矿床学成因研究中最大的瓶颈之一(杨岳衡等,2021)。

在上述情况下,许多作者对南岭地区钨成矿作用的年龄数据开展统计分析,从而获得两个成矿年龄峰值:一个在 150~160 Ma 之间,属于燕山早期(毛景文等,2007;付建明等,2007;程顺波等,2014);另一个在 130~140 Ma 之间,属于燕山晚期(毛景文等,2004;付建明等,2013;程顺波等,2014)。由于 150~160 Ma 成矿年龄的数据量远多于 130~140 Ma 成矿年龄的数据量,故两者分别被称为南岭钨矿的“主成矿期”和“次成矿期”(付建明等,2013;程顺波等,2014)。然而,根据矿床学理论,“在一个成矿区域中,矿化往往集中地发生在某个地质时期内(本文按:成矿期)”(翟裕生等,2011³⁶⁰),而“成矿期是指在一个具有相同成岩成矿动力学背景和物理化学条件的较长地质作用中,形成矿床的成矿作用过程”(翟裕生等,2011²⁰)。基于同一次造山运动不可逆的应力状态演变(由挤压转为伸展,据 Osmundsen and Andersen,1994),笔者等认为,南岭地区的燕山运动不可能造成两期规模性的钨成矿作用。换言之,上述两期处于不同构造背景下的成矿年龄,只有一期是正确的,另一期则是误解的。

笔者等将利用近年来获得的各种研究成果,从成矿母岩、深部岩浆房与成矿机制三个方面,分别展开探讨性的评述,以确定南岭地区仅有一期钨成矿作用,从而推导出一个新型的区域性成矿模式。

1 成矿母岩

根据《矿床学》教科书的定义,以石英脉型和云英岩型为主要矿床类型的南岭钨矿在成因上属于“内生高温岩浆热液矿床”,“这类矿床的形成作用发生在岩浆结晶作用的末期和期后”,即“由岩浆分泌出来的含矿气水溶液,在侵入体内及其附近围岩中,以交代和充填的成矿方式,将有用物质聚集起来而形成的”(翟裕生等,2011¹³⁶)。显然,对应于 150~160 Ma 成矿年龄的南岭钨矿,其成矿母岩必然是

150~160 Ma 成岩年龄的南岭花岗岩。

众所周知,在 150~160 Ma 南岭地区出现了最大规模的花岗岩浆活动,构成了许多燕山早期花岗岩基,如:金鸡岭、龙源坝、姑婆山、佛冈、大东山、武平等花岗岩基(中国科学院贵阳地球化学研究所,1979;南京大学地质系,1981;李献华等,2007)。它们属于钙碱性准铝质—弱过铝质花岗岩,在岩相学分类上它们主要为黑云母二长花岗岩,少量为花岗闪长岩(地质矿产部南岭项目花岗岩专题组,1989)。它们的岩石化学特征反映出它们的母岩浆是未分异—低分异的,表现为:① 它们的主量元素以低 SiO₂(平均值为 70.51%)和高 FeO^T+MgO+CaO(平均值为 5.88%)为特征(Wang Xiang et al., 2017);② 它们的微量元素以贫不相容元素(Be、Bi、Li、Nb、Pb、Rb、Sn、Ta、U、Y、W、Y)和富相容元素(Ba、Cd、Co、Cr、Hf、Ni、Sr、Th、V、Zn、Zr)为特征(Wang Xiang et al., 2017);③ 它们的球粒陨石标准化稀土配分模式为轻度 Eu 负异常的“右倾型”(图 1a)。尤其是,它们的母岩浆在定位后的冷凝固过程中几乎未显示出任何程度的分离结晶作用,故这些花岗岩:① 几乎不含挥发分矿物(如:电气石、萤石、黄玉、方解石等)和矿石矿物(如:黑钨矿、锡石、Nb—Ta 氧化物、黄铜矿、晶质铀矿等);② 几乎不具有文象结构和晶洞构造;③ 在其岩体中从未见高熔点矿物(如:Fe—Ti 氧化物、暗色矿物、钙质斜长石、锆石、磷灰石等)下沉、聚集而造成水平状的岩性分层。按照岩浆热液矿床的成矿模式(翟裕生等,2011),这种未分异—低分异的花岗岩不具备成为南岭钨矿成矿母岩的必要条件——曾经历过高度的分离结晶作用。理论上,如按瑞利分离结晶模型计算(Hulsbosch et al., 2014),W 丰度为 5.9×10⁻⁶的南岭地区黑云母二长花岗岩(中国科学院贵阳地球化学研究所,1979)不可能通过低限度的分离结晶作用分异出万吨级以上的大型钨矿;事实上,在许多巨型花岗岩基(如:龙源坝、佛冈等花岗岩基)的内部(或外接触带)甚至未出现过钨矿化点(除非岩基内部出现燕山晚期的二云母/白云母碱长花岗岩,详细解释见下)。因此,这种未分异—低分异的黑云母二长花岗岩不可以被认作为南岭钨矿的钨源载体。

然而,在具体的矿区范围内,黑云母二长花岗岩与钨矿之间却有着极其紧密的空间关系,表现为许多钨矿脉确实赋存在黑云母二长花岗岩体内部(或外接触带)(陈依壤,1981;朱焱龄等,1981;叶际祎

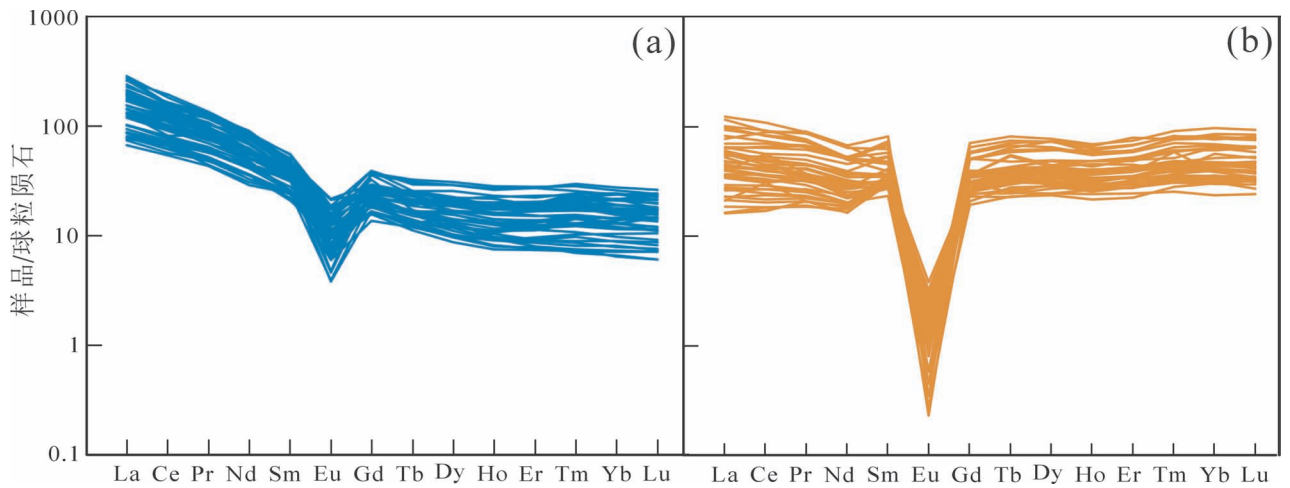


图 1 南岭地区燕山早期黑云母二长花岗岩(a)和燕山晚期二云母/白云母碱长花岗岩(b)的球粒陨石标准化稀土配分型式。数据来源:Wang Xiang 等(2016);球粒陨石标准化数据取自 Taylor and McLennan(1985)

Fig. 1 Chondrite-normalized REE patterns of early Yanshanian biotite monzogranites (a) and late Yanshanian two-mica/muscovite alkali-feldspar granites (b) in the Nanling Ranges. Data are from Wang Xiang et al. (2016). Chondrite REE values are from Taylor and McLennan (1985)

等,2000;卢友月等,2019)。一个最典型的实例是湖南宜章县瑶岗仙钨矿,矿脉基本上赋存在黑云母二长花岗岩内部,部分矿脉可以向外延伸到泥盆系围岩中(图 2a)。从剖面上看,部分主脉群从上往下收敛归并成一条矿脉,可在黑云母二长花岗岩体内“延深达数百米,甚至达千余米”(陈依壤,1981)。这种钨矿脉“向下至岩体内逐渐尖灭”的现象常见于南岭地区许多钨矿中,如:江西崇义县淘锡坑钨矿(陈郑辉等,2006)、江西全南县大吉山钨矿(夏卫华,1985)、江西于都县铁山垅钨矿(夏卫华,1985)和盘古山钨矿(叶际祎等,2000)、江西大余县西华山钨矿(周玉振等,2010)、广西贺州市烂头山钨矿(蔡明海等,2012)。据此,上述作者把黑云母二长花岗岩认作为钨矿的成矿母岩。然而,这些矿脉的产状(图 2b)无疑地说明,含矿热液是以充填的方式注入到在早已固结的黑云母二长花岗岩

中产生的裂隙内的,即:黑云母二长花岗岩与钨矿脉并不是同时形成的。显然,这种现象有悖于岩浆热液矿床的产出方式:“当溶液分出后,未经长距离的搬运,即在酸性岩体的顶部或其上覆围岩中沉淀成矿”(翟裕生等,2011¹³⁸)。换言之,尽管矿脉赋存在黑云母二长花岗岩中,但是两者之间并没有“源”的成因关系,故从野外观察到的客观现象也可以判别,燕山早期黑云母二长花岗岩不可能是钨矿的成矿母

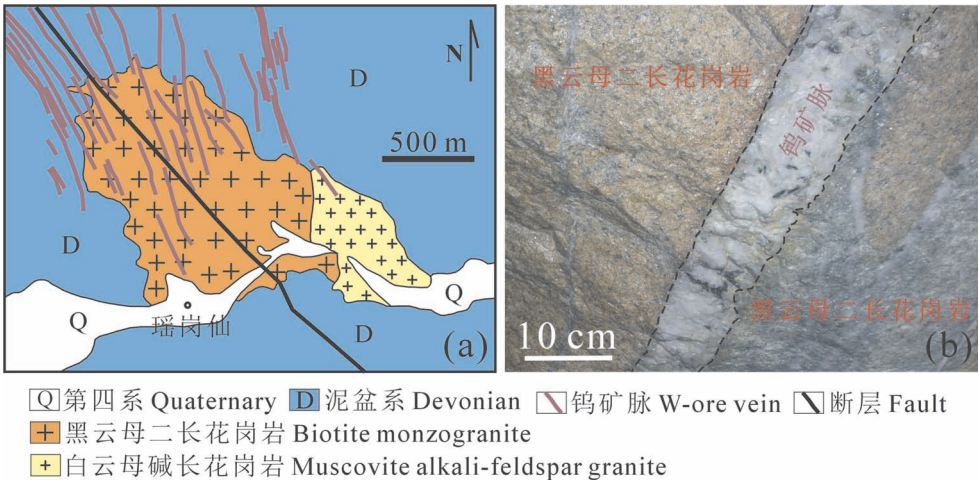


图 2 湖南宜章县瑶岗仙钨矿的地质图(a)与矿区内燕山早期黑云母二长花岗岩与燕山晚期钨矿脉接触关系的照片(b)(据 Wang Xiang and Ren Minghua,2018 修改)

Fig. 2 Geological map of the Yaogangxian tungsten deposit, Yizhang, Hunan Province (a) and contact relationship between the early Yanshanian biotite monzogranite and the late Yanshanian tungsten-ore vein in this deposit (b) (modified from Wang Xiang and Ren Minghua, 2018)

岩。

相反,许多作者发现,南岭钨矿的成矿母岩属于“燕山运动晚阶段”的花岗岩(李华芹等,2006;陈郑辉等,2006;丰成友等,2007;付建明等,2007;蔡明海等,2012;祝新友等,2012;马星华等,2016);而更多的作者确定,南岭钨矿的成矿母岩形成于“燕山晚期”(中国科学院地球化学研究所,1979;南京大学地质系,1981;夏宏远和梁书艺,1987;地质矿产部南岭项目花岗岩专题组,1989;蔡锦辉等,2004;罗汉民等,2006;刘国庆等,2008;周玉振等,2010;程顺波等,2014;廖静等,2018;杨明桂和王光辉,2020)。大量的野外现象与年龄数据(表1)充分说明,南岭钨矿的成矿大爆发应该出现在燕山晚期,即130~140 Ma之间。

“燕山运动晚阶段”或“燕山晚期”的花岗岩基本上是呈岩株、岩瘤、岩脉状侵入的二云母/白云母碱长花岗岩(中国科学院地球化学研究所,1979;南京大学地质系,1981;地质矿产部南岭项目花岗岩专题组,1989;祝新友等,2012;Wang Xiang et al., 2017;杨明桂和王光辉,2020),它们是南岭钨矿潜在的成矿母岩,因为它们具备如下有利的条件:

(1)本文的统计工作显示,南岭地区二云母/白云母碱长花岗岩定位于130~140 Ma之间(表1),与上述130~140 Ma“次成矿期”的成矿年龄完全吻合。举一个很有代表性的实例,来确凿地说明两者的同时性。江西大余县西华山钨矿是赣南“四大钨矿”之一,矿区的花岗岩可分作四个阶段:161~180 Ma、150~160 Ma、148 Ma和最后的花岗斑岩(未测年)(翟裕生等,2011¹³⁸)。根据钨矿脉切穿了第三阶段花岗岩体(翟裕生等,2011¹³⁸),可以说明成矿作用晚于148 Ma,应该与第四阶段的花岗斑岩有成因关系。后来的测年分析证实,西华山花岗斑岩的成岩年龄为136.0~140.0 Ma(表1),而西华山钨矿的成矿年龄为130.3~139.8 Ma(表1),两者基本上吻合。最新的一个实例来自湖南茶陵县邓阜仙钨矿的研究,Xiong Yiqu等(2020)利用锡石U-Pb法测定白云母碱长花岗岩和钨矿脉的形成年龄分别为138.0 Ma和136.8 Ma,两者也基本一致。早在20世纪,赫英(1991)在总结南岭钨矿研究工作后就指出,“细粒花岗岩(本文按:即细粒二云母/白云母碱长花岗岩)的形成年龄约为135~139 Ma,与矿脉的年龄互有交叉”。

(2)除了上述文献提到的钨矿与“燕山运动晚阶段”或“燕山晚期”二云母/白云母碱长花岗岩在

空间上的伴生关系,本文还可以明确下列特征性的地质现象:①石英脉型或云英岩型钨矿石总是出现在二云母/白云母碱长花岗岩体的正上方(赫英,1991;蔡锦辉等,2004;陈郑辉等,2006;郭伟革等,2010;蔡明海等,2012;Xiong Yiqu et al., 2020),正如许多文章中的矿区剖面图所示(图4)。②在柿竹园、瑶岗仙、邓阜仙、黄沙、西华山、荡坪和大龙山等钨矿床中,许多作者都观察到从上往下由黑钨矿—石英脉到伟晶岩脉或细晶岩脉再到二云母/白云母碱长花岗岩脉,三者呈连续过渡的渐变关系(梅勇文,1985;陈依壤,1988;赫英,1991)。赫英(1990)曾指出,“细粒花岗岩(本文按:即细粒二云母/白云母碱长花岗岩)代表分离出挥发分溶液(本文按:即成矿热液)以后的残留部分”。③有时,黑钨矿呈浸染状分布在二云母/白云母碱长花岗岩中(赫英,1991;张文兰等,2006;郭伟革等,2010),甚至呈黑钨矿—毒砂—云母—长石—石英组合的囊状体封闭在二云母/白云母碱长花岗岩中(梅勇文,1985;陈依壤,1988;常海亮等,2007;张文兰等,2009),导致花岗岩本身构成钨矿石。值得强调的是,上述第②种和第③种现象从未出现在与钨矿伴生的燕山早期黑云母二长花岗岩中。

(3)根据“岩浆热液矿床的形成作用发生在岩浆结晶作用的末期和期后”(翟裕生等,2011¹³⁶),它们的成矿母岩必然经历过高度的分离结晶作用。南岭地区的二云母/白云母碱长花岗岩(其斜长石牌号小于An₁₀;祝新友等,2012;Wang Xiang et al., 2017)的岩石化学特征反映出它们的母岩浆是高度分异的,表现为:①它们的主量元素以高SiO₂(平均值为75.86%)和低FeO^T+MgO+CaO(平均值为1.52%)为特征(Wang Xiang et al., 2017);②它们的微量元素以富不相容元素(Be、Bi、Li、Nb、Pb、Rb、Sn、Ta、U、W、Y)和贫相容元素(Ba、Cd、Co、Cr、Hf、Ni、Sr、Th、V、Zn、Zr)为特征(Wang Xiang et al., 2017);③它们的球粒陨石标准化稀土配分模式为高度Eu负异常的“海鸥型”(图1b)。同时,这些花岗岩富含挥发分矿物(如:萤石、电气石、黄玉、白云母、铁锂云母、方解石等)和矿石矿物(如:黑钨矿、锡石、Nb—Ta氧化物、黄铜矿、磷钼矿、品质铀矿等)(Wang Xiang et al., 2017),局部可聚集成直径为几十厘米左右的囊状体(梅勇文,1985;陈依壤,1988;常海亮等,2007;张文兰等,2009)。它们常具有文象结构和雪球结构(章锦统和夏卫华,1988)、晶洞构造和流动构造(常海亮等,2007)。上述特征说明它

表 1 南岭地区燕山晚期造山后花岗岩(包括相同属性的其它岩石)及其矿床的年代学数据一览表

Table 1 Summary of chronological data on the late Yanshanian post-orogenic granites (including other rocks with the same nature) and the related deposits in the Nanling Range

地点	岩性	年龄(Ma)	定年方法	参考文献	地点	岩性	年龄(Ma)	定年方法	参考文献
燕山晚期造山后花岗岩(及火山岩)									
雅山(赣)	白云母花岗岩	131.0	锆石 U-Pb	喻良桂, 2007	相山(赣)	碎斑熔岩	134.6	锆石 U-Pb	杨水源等, 2012
浒坑(赣)	白云母花岗岩	130.0	锆石 U-Pb	刘细元等, 2004	相山(赣)	碎斑熔岩	134.1	锆石 U-Pb	杨水源等, 2013
浒坑(赣)	白云母花岗岩	133.2	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2017	相山(赣)	花岗斑岩	134.1	锆石 U-Pb	陈小明等, 1999
浒坑(赣)	白云母花岗岩	131.3	云母 K-Ar	穆治国等, 1988	相山(赣)	霏细斑岩	132.0	锆石 U-Pb	郭建等, 2014
浒坑(赣)	白云母花岗岩	135.2	云母 K-Ar	穆治国等, 1988	相山(赣)	碎斑熔岩	135.3	锆石 U-Pb	彭中用等, 2018
浒坑(赣)	白云母花岗岩	134.3	云母 K-Ar	穆治国等, 1988	相山(赣)	花岗斑岩	134.4	锆石 U-Pb	彭中用等, 2018
西华山(赣)	白云母花岗岩	136.0	云母 K-Ar	Manejol et al., 1990	相山(赣)	碎斑熔岩	133.4	锆石 U-Pb	王利玲等, 2020
西华山(赣)	二云母花岗岩	139.0	全岩 Rb-Sr	刘家齐, 1989	相山(赣)	碎斑熔岩	135.2	锆石 U-Pb	巫建华等, 2017
西华山(赣)	二云母花岗岩	140.0	全岩 Rb-Sr	李华芹等, 1993	相山(赣)	碎斑熔岩	134.1	锆石 U-Pb	陈正乐等, 2013
漂塘(赣)	白云母花岗岩	133.4	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2017	玉华山(赣)	花岗斑岩	132.0	锆石 U-Pb	周强强, 2012
荡坪(赣)	白云母花岗岩	132.5	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2017	黄沙坪(湘)	花岗斑岩	134.0	全岩 Rb-Sr	杨世义等, 1986
荡坪(赣)	花岗斑岩	138.0	云母 K-Ar	南京大学地质系, 1981	柿竹园(湘)	白云母花岗岩	136.0	全岩 Rb-Sr	毛景文等, 1995
荡坪(赣)	二云母花岗岩	140.8	全岩 Rb-Sr	刘家齐等, 2002	柿竹园(湘)	白云母花岗岩	131.0	全岩 Rb-Sr	陈毓川等, 2006
张天堂(赣)	白云母花岗岩	135.8	长石 Ar-Ar	Mao Jianren et al., 2010	杉山岭(湘)	正长岩	135.0	云母 K-Ar	赵振华等, 2000
足洞(赣)	白云母花岗岩	134.0	云母 K-Ar	黄典豪等, 1989	菜岭(湘)	白云母花岗岩	133.0	全岩 Rb-Sr	付建明等, 2004
天门市(赣)	白云母花岗岩	137.3	锆石 U-Pb	丰成友等, 2007	南溪(湘)	花岗斑岩	140.0	全岩 Rb-Sr	李华芹等, 2006
红桃岭(赣)	白云母花岗岩	133.5	锆石 U-Pb	丰成友等, 2007	金竹(湘)	花岗斑岩	131.0	锆石 U-Pb	湖南省地调院 ^①
淘锡坑(赣)	白云母花岗岩	134.4	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2017	瑶岗仙(湘)	白云母花岗岩	133.5	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2017
宝山(赣)	白云母花岗岩	138.0	云母 K-Ar	朱焱龄等, 1981	影珠山(湘)	白云母花岗岩	135.0	云母 K-Ar	贾大成等, 2003
铁木里(赣)	白云母花岗岩	136.6	锆石 U-Pb	Lu Lin et al., 2018	黄龙山(湘)	白云母花岗岩	134.0	云母 K-Ar	汪洋和邓晋福, 2004
密坑山(赣)	花岗斑岩	136.0	锆石 U-Pb	邱检生等, 2006	邓阜仙(湘)	白云母花岗岩	136.0	云母 K-Ar	倪永进等, 2015
岩背(赣)	花岗斑岩	136.0	锆石 U-Pb	梅勇文, 1994	邓阜仙(湘)	白云母花岗岩	138.0	锡石 U-Pb	Xiong Yiqu et al., 2020
武夷山(赣)	花岗斑岩	130.0	锆石 U-Pb	周亮, 1999	邓阜仙(湘)	白云母花岗岩	138.7	锡石 U-Pb	Xiong Yiqu et al., 2020
大乌山(赣)	白云母花岗岩	139.0	锆石 U-Pb	冯尚杰等, 2020	石人磴(粤)	白云母花岗岩	130.0	长石 Pb-Pb	陈康礼, 1983
石溪(赣)	粗面岩	137.0	锆石 U-Pb	巫建华等, 2011	石人磴(粤)	白云母花岗岩	132.0	全岩 Rb-Sr	罗汉民等, 2006
大长沙(赣)	粗面岩	135.4	锆石 U-Pb	巫建华等, 2011	大宝山(粤)	白云母花岗岩	130.0	长石 Pb-Pb	肖光铭和鄢文, 2011
版石(赣)	流纹岩	131.4	锆石 U-Pb	巫建华等, 2012	大宝山(粤)	白云母花岗岩	140.0	云母 K-Ar	肖光铭和鄢文, 2011
铜坑漳(赣)	花岗斑岩	138.0	锆石 U-Pb	苏慧敏等, 2010	莲花山(粤)	正长斑岩	135.8	全岩 Rb-Sr	满发胜等, 1983
铁山垅(赣)	二云母花岗岩	133.4	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2017	莲花山(粤)	花岗斑岩	137.2	全岩 Rb-Sr	满发胜等, 1983
打鼓寨(赣)	二云母花岗岩	132.0	锆石 U-Pb	张万良等, 2009	红岭(粤)	白云母花岗岩	140.0	云母 K-Ar	肖光铭和鄢文, 2011
打鼓寨(赣)	二云母花岗岩	138.0	锆石 U-Pb	王洪荣等, 2020	帽峰(粤)	二云母花岗岩	138.0	云母 K-Ar	邓平等, 2002
冷水坑(赣)	火山岩	135.0	锆石 U-Pb	杨明桂等, 2009	大埔(粤)	二云母花岗岩	134.9	锆石 U-Pb	赵希林等, 2012
仙霞岭(赣)	流纹岩	138.0	锆石 U-Pb	张家菁, 2009	陶锡湖(粤)	花岗斑岩	136.5	锆石 U-Pb	丘增旺等, 2017
永平(赣)	花岗斑岩	135.0	锆石 U-Pb	丁昕等, 2005	恶鸡脑(粤)	碱性正长岩	137.0	锆石 U-Pb	王强等, 2005
					南昆山(粤)	A 型花岗岩	132.0	云母 K-Ar	广东省地矿局, 1988

地点	岩性	年龄 (Ma)	定年方法	参考文献	地点	岩性	年龄 (Ma)	定年方法	参考文献
珠高塘(粤)	二云母花岗岩	130.3	锆石 U-Pb	黄孔文等, 2019	铜坑岬(赣)	Mo—Sn	133.8	辉钼矿 Re-Os	许建祥等, 2007
莲花山(粤)	花岗岩	137.3	锆石 U-Pb	Liu Peng et al., 2018	金竹坪(赣)	Mo—Pb—Zn	135.5	辉钼矿 Re-Os	张家菁等, 2009
黄东(粤)	二云母花岗岩	131.0	全岩 Rb-Sr	王学成, 1986	金竹坪(赣)	Mo—Pb—Zn	134.1	辉钼矿 Re-Os	王登红等, 2012
诸广山(粤)	花岗岩	138.6	锆石 U-Pb	徐文雄等, 2014	鸳鸯(赣)	Pb—Zn—Ag	135.4	闪锌矿 Rb-Sr	张家菁等, 2012
塌山(粤)	花岗岩	136.8	锆石 U-Pb	闫庆贺等, 2018	鸳鸯(赣)	Pb—Zn—Ag	139.0	闪锌矿 Sm-Nd	张家菁等, 2012
塌山(粤)	花岗岩	138.0	锆石 U-Pb	王德滋等, 1995	柿竹园(湘)	W—Sn	134.0	云母 Ar-Ar	毛景文等, 2004
飞鹤山(粤)	花岗岩	139.2	锆石 U-Pb	Liu Peng et al., 2017	金船塘(湘)	Sn—Bi	133.4	全岩 Rb-Sr	马丽艳 ^②
永安(闽)	流纹岩	134.0	锆石 U-Pb	胡广等, 2011	荷花坪(湘)	Sn—Pb—Zn	136.0	锡石 U-Pb	Li Gongying et al., 2016
行洛坑(桂)	二云母花岗岩	135.0	全岩 Rb-Sr	张家元, 1983	荷花坪(湘)	Sn—Pb—Zn	137.0	锡石 U-Pb	Li Gongying et al., 2016
新路(桂)	花岗岩	136.6	锆石 U-Pb	李晓峰等, 2012	骑田岭(湘)	Sn	139.0	云母 Ar-Ar	刘义茂等, 2003
盐田岭(桂)	白云母花岗岩	137.0	全岩 Rb-Sr	肖荣等, 2011	南溪(湘)	Sn	137.0	全岩 Rb-Sr	李华芹等, 2006
燕山晚期矿床					南溪(湘)	Sn	133.0	矿石 Sm-Nd	李华芹等, 2006
荡坪(赣)	W	133.6	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2016	白腊水(湘)	Sn—Pb—Zn	133.0	全岩 Rb-Sr	李华芹等, 2006
荡坪(赣)	W	137.4	萤石 Sm-Nd	陈毓川等, 2006	白腊水(湘)	Sn—Pb—Zn	136.0	全岩 Rb-Sr	王登红等, 2003
荡坪(赣)	W	130.3	全岩 Rb-Sr	陈毓川等, 2006	瑶岗仙(湘)	W	133.7	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2016
西华山(赣)	W	137.4	萤石 Sm-Nd	李华芹等, 1993	邓阜仙(湘)	W	136.8	锡石 U-Pb	Xiong Yiqu et al., 2020
西华山(赣)	W	139.7	黑钨矿 Sm-Nd	李华芹等, 1993	莲花山(粤)	W—Au	133.2	云母 Ar-Ar	Liu Peng et al., 2018
西华山(赣)	W	130.3	石英 Rb-Sr	李华芹等, 1993	河口山(粤)	W	135.0	云母 K-Ar	陈康礼, 1983
西华山(赣)	W	139.8	石英 Rb-Sr	李华芹等, 1993	锯板坑(粤)	W—Sn	134.0	云母 K-Ar	陈康礼, 1983
西华山(赣)	W	137.0	辉钼矿 Re-Os	李晓峰等, 2008	锯板坑(粤)	W—Sn	138.1	云母 Ar-Ar	Qi Huawen et al., 2012
八仙脑(赣)	W	133.0	石英 Rb-Sr	曾载淋等, 2009	锯板坑(粤)	W—Sn	134.0	云母 K-Ar	罗汉民等, 2006
八仙脑(赣)	W	135.2	石英 Rb-Sr	王登红等, 2010	锯板坑(粤)	W—Sn	140.0	云母 K-Ar	罗汉民等, 2006
牛岭(赣)	W	139.5	石英 Rb-Sr	王登红等, 2010	锯板坑(粤)	W—Sn	139.2	云母 Ar-Ar	付建明等, 2009
漂塘(赣)	W	133.7	石英 Rb-Sr	王登红等, 2010	诸广山(粤)	U	132.0	全岩 Rb-Sr	吴俊奇等, 1998
木梓园(赣)	W	132.0	辉钼矿 Re-Os	张文兰等, 2009	诸广山(粤)	U	131.0	沥青铀矿 U-Pb	吴烈勤等, 2003
铁山垅(赣)	W	134.2	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2016	红岭(粤)	W	138.0	云母 K-Ar	广东冶金地质 937 队 ^③
庵前滩(赣)	W	137.7	长石 Ar-Ar	王登红等, 2010	下庄(粤)	U	130.3	沥青铀矿 U-Pb	倪师军, 1987
庵前滩(赣)	W	138.0	长石 Ar-Ar	王登红等, 2010	莲花山(粤)	W	133.2	云母 Ar-Ar	Liu Peng et al., 2018
庵前滩(赣)	W	138.2	长石 Ar-Ar	王登红等, 2010	塌山(粤)	Sn	133.6	锡石 U-Pb	闫庆贺等, 2018
淘锡坑(赣)	W	134.4	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2016	塘尾(粤)	Sn	137.0	辉钼矿 Re-Os	廖静等, 2018
茅坪(赣)	W	130.1	磷钇矿 U-Pb	Legros et al., 2020	飞鹤山(粤)	W—Mo	136.5	辉钼矿 Re-Os	李海立等, 2016
茅坪(赣)	W	133.0	辉钼矿 Re-Os	曾载淋等, 2009	飞鹤山(粤)	W—Mo	135.1	云母 Ar-Ar	Liu Peng et al., 2017
铁木里(赣)	W—Fe	135.1	辉钼矿 Re-Os	Lu Lin et al., 2018	飞鹤山(粤)	W—Mo	140.6	辉钼矿 Re-Os	Liu Peng et al., 2017
铁木里(赣)	W—Fe	132.7	云母 Ar-Ar	Lu Lin et al., 2018	金坑(粤)	Sn	139.3	辉钼矿 Re-Os	Qiu Zengwang et al., 2017
游坑(赣)	W	132.9	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2016	陶锡湖(粤)	Sn	139.0	辉钼矿 Re-Os	廖静等, 2018
游坑(赣)	W	140.3	云母 Ar-Ar	陈懋弘等, 2009	行洛坑(闽)	W—Mo	133.4	锆石 U-Pb	Wang Xiang et al., 2016
留龙(赣)	Au	130.1	长石 Ar-Ar	王登红等, 2010	烂头山(桂)	W—Sn	136.1	全岩 Rb-Sr	顾晨彦等, 2007
画眉坳(赣)	W	131.1	石英 Rb-Sr	王登红等, 2010	新路(桂)	Sn—W	138.6	云母 K-Ar	董子成, 1991
隆坪(赣)	F	134.0	萤石 Sm-Nd	方贵聪等, 2020	注: 因本文并不关心各年龄值的微小误差, 故省略了各年龄值的误差项。				

们的母岩浆高度富集挥发分和金属元素,是成矿热液的潜在供体。

(4) 由于锆石具有高度的抗蚀性和耐磨性,可以长期地保存它结晶时的原生信息,因此它已成为最佳的地球化学分析样品。通过测量锆石的 $n(^{176}\text{Hf})/n(^{177}\text{Hf})$ 和 $n(^{176}\text{Lu})/n(^{177}\text{Hf})$ 比值与结晶年龄,可以计算出 $n(^{176}\text{Hf})/n(^{177}\text{Hf})$ 初始比值,来判断锆石结晶介质的起源特征(汪相等,2003)。最新发表的数据表明,南岭地区四个脉型钨矿(荡坪、铁山垅、淘锡坑和瑶岗仙钨矿)的白云母碱长花岗岩和矿脉中的锆石具有相同的 $n(^{176}\text{Hf})/n(^{177}\text{Hf})$ 初始比值,证明了白云母碱长花岗岩与脉型钨矿之间存在亲缘性(Wang Xiang et al., 2017)。在许多南岭钨矿区,晚期侵入的花岗岩与矿石中的硫化物具有完全相同的 $\delta^{34}\text{S}$ 值(梅勇文,1985),或两者中的石英具有完全相同的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(常海亮等,2007),说明它们是同源的。大量的矿石铅、硫、氢、氧同位素研究结果表明,南岭钨矿的成矿物质(热液)直接来自高分异的花岗岩(陈依壤,1988;郭伟革等,2010)。

然而,在南岭地区那些成矿的燕山晚期二云母/白云母碱长花岗岩的出露面积通常小于 1 km^2 (章锦统和夏卫华,1988;祝新友等,2012),它们的平均 W 含量为 243.3×10^{-6} (中国科学院贵阳地球化学研究所,1979)。通过质量平衡计算不难证明,如此小体积的富钨花岗岩也是不可能分异出万吨级以上的大型钨矿的。因此,也不能称它们为成矿母岩,即:成矿物质(钨、助溶剂、流体)不可能从这些小体积岩浆的“岩浆结晶作用的末期和期后”(翟裕生等,2011¹³⁶)分离出来的。事实上,南岭地区燕山晚期二云母/白云母碱长花岗岩的基质都是细粒或微粒结构(图 3),说明它们

的母岩浆是快速定位和结晶的,即:它们没有充分的时间“将有用物质聚集起来”(翟裕生等,2011¹³⁶)。那么,南岭钨矿有无成矿母岩呢?笔者等认为,南岭地区的二云母/白云母碱长花岗岩与钨矿是一对同源分体,两者皆来自深部岩浆房的残余岩浆。

2 深部岩浆房

在南岭地区,(燕山早期)150~160 Ma 的黑云母二长花岗岩普遍被认为是壳源 S 型花岗岩(地质矿产部南岭项目花岗岩专题组,1989;翟裕生等,1999;邓平等,2002;蒋国豪等,2004)。壳源 S 型花岗岩形成于同造山的挤压构造背景(李献华等,1997;Yenes et al., 1999),即:在地壳加厚过程中地壳深部发生部分熔融作用,形成黑云母二长花岗岩浆房(Yenes et al., 1999);当该岩浆房受到进一步挤压时,黑云母二长花岗岩浆沿着逆冲断层,主动侵位到地壳上部(Castro and Fernandez, 1998; Yenes et

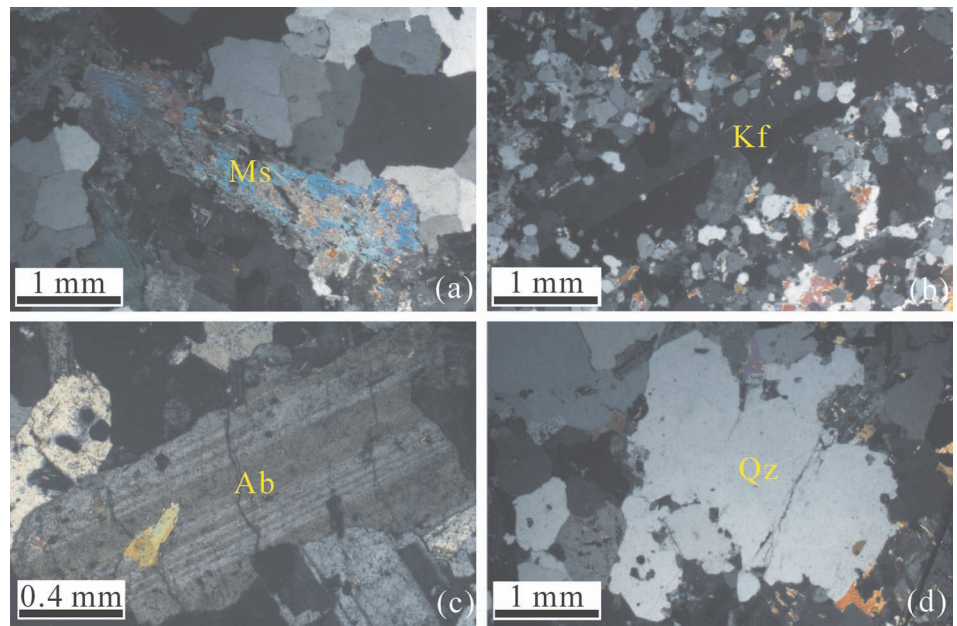


图 3 燕山晚期二云母/白云母碱长花岗岩中斑晶矿物的熔蚀结构的正交偏光显微照片:(a) (湖南茶陵县)邓阜仙细粒白云母碱长花岗岩中的斑晶白云母(Ms);(b) (江西大余县)漂塘花岗岩斑岩中的斑晶钾长石(Kf);(c) (江西于都县)铁山垅细粒白云母碱长花岗岩中的斑晶钠长石(Ab);(d) (湖南宜章县)瑶岗仙细粒白云母碱长花岗岩中的斑晶石英(Qz)

Fig. 3 Photomicrographs (crossed polars) of resorption texture of phenocryst minerals in the late Yanshanian two-mica/muscovite alkali-feldspar granite: (a) phenocryst muscovite (Ms) in the Dengfuxian fine-grained muscovite alkali-feldspar granite (Chaling, Hunan Province); (b) phenocryst potassic feldspar (Kf) in the Piaotang granite porphyry (Dayu, Jiangxi Province); (c) phenocryst of albite (Ab) in the Tieshanlong fine-grained muscovite alkali-feldspar granite (Yudu, Jiangxi Province); (d) phenocryst quartz (Qz) in the Yaopangxian fine-grained muscovite alkali-feldspar granite (Yizhang, Hunan Province)

al., 1999), 形成黑云母二长花岗岩(岩基或岩株)(图 4)。构造学研究显示, 华南地块在中—晚侏罗世受到伊泽奈崎板块的俯冲—挤压, 造成了燕山早期壳源 S 型花岗岩浆的形成和定位(毛建仁等, 1997; 翟裕生等, 1999; 邓平等, 2002), 因此, 南岭地区燕山早期的黑云母二长花岗岩属于同造山花岗岩(Yenes et al., 1999; Wang Xiang et al., 2021)。

同样在南岭地区, 燕山晚期出现了大量的碱长花岗岩(地质矿产部南岭项目花岗岩专题组, 1989; Wang Xiang et al., 2017), 这些花岗岩的基质部分呈现为细粒或微粒结构, 因此在野外常被称为“(斑状)细粒花岗岩”(梅勇文, 1985; 赫英, 1991; 李华芹等, 1993; 常海亮等, 2007; 郭伟革等, 2010; 肖荣等, 2011; 蔡明海等, 2012; 祝新友等, 2012; 武国忠等, 2014; 丘增旺等, 2017)或“花岗斑岩”(华仁民, 2005; 陈毓川等, 2006; 李华芹等, 2006; 邱检生等, 2006; 李光来等, 2011; 丘增旺等, 2017)。花岗斑岩与细粒花岗岩之间有过渡关系, 花岗斑岩实际上就是细粒花岗岩(赫英, 1991)。这种细粒或微粒结构是由于花岗岩浆沿着张性构造快速定位导致温压骤降(及流体出溶)条件下形成的(Wang Xiang et al., 2017), 故这些细粒花岗(斑)岩呈现为被动侵位的构造属性(Castro and Fernandez, 1998)。目前, 国内地质界普遍认为, 在 ~140 Ma 华南构造应力场从挤压向伸展转变(李献华等, 1997; 刘义茂等, 2003)。因此, 南岭地区燕山晚期的二云母/白云母碱长花岗岩可被称为造山后花岗岩(柏道远等, 2005; Wang Xiang et al., 2021)。

作为“成矿母岩”的细粒斑状二云母/白云母碱长花岗岩普遍具有两个基本特征: ① 它们的斑晶显示出熔蚀边界(图 3); ② 它们与围岩呈侵入接触关系(图 4)。这些特征说明, 它们的母岩浆来自深部岩浆房, 并快速上升定位和冷凝结晶形成花岗岩(Müller et al., 2005)。这一点暗示了, 这类花岗岩浆的高分异演化作用发生在深部岩浆房中。那么, 它们的初始花岗岩浆是什么? 需要多长时间才能完成高度的岩浆分异作用?

至此, 笔者等可以指出, 燕山晚期的二云母/白云母碱长花岗岩与燕山早期的黑云母二长花岗岩来自同一个深部岩浆房, 证据如下:

(1) 燕山晚期的二云母/白云母碱长花岗岩普遍以补体花岗岩的形式, 侵入在主体花岗岩(即燕山早期黑云母二长花岗岩)之中或周围(图 4), 构成南岭地区大量存在的燕山期复式花岗岩体(表 2)。这种空间上的耦合关系表明, 两者的岩浆房应该处于同一垂线上。

(2) 主体与补体花岗岩的侵入作用都受到相同的北东向(北北东向到北东东向的变化范围内)断裂的控制(李中兰和梅勇文, 1999), 说明两种岩浆是经过相同的通道上升定位的。

(3) 矿物学和岩石化学研究显示, 这两种花岗岩之间具有明显的演化关系, 即两者被认为是同一岩浆在不同演化阶段的产物(陈依壤, 1988; 喻良桂, 2007; 郭伟革等, 2010; 朱金初等, 2011), 甚至部分作者认为二云母/白云母碱长花岗岩浆是通过分离结晶作用由黑云母二长花岗岩浆直接分异出来的(赫英, 1991; 李中兰和梅勇文, 1999; 叶际祎等, 2000)。

(4) Wang Xiang 等(2021)揭示, 南岭地区二云母/白云母碱长花岗岩的热液锆石中包裹的残留锆石具有岩浆结晶锆石的标志性特征: ① 发育 {211} 锥面; ② 强 CL 亮度; ③ 中等含量的 Hf 与很低含量

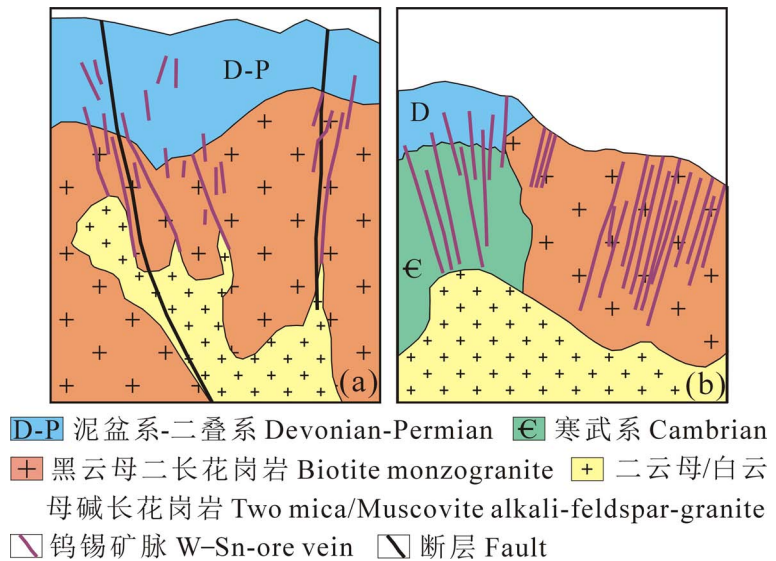


图 4 (燕山早期)主体花岗岩、(燕山晚期)补体花岗岩和(燕山晚期)钨(锡)矿脉的地质剖面图。(a)含矿的芙蓉复式花岗岩体(据蔡锦辉等, 2004 修改);(b)含矿的瑶岗仙复式花岗岩体(据郭伟革等, 2010 修改)

Fig. 4 Geological section drawings of (early Yanshanian) main intrusive granite, (late Yanshanian) subsequent intrusive granite and (late Yanshanian) tungsten (tin)-ore veins. (a) Furong ore-bearing granitic complex (modified from Cai Jinhui et al., 2004&); (b) Yaogangxian ore-bearing granitic complex (modified from Guo Weige et al., 2010&)

表 2 南岭地区部分燕山期复式花岗岩体及其燕山晚期矿床的年龄一览表

Table 2 Summary of chronological data on some Yanshanian granitic complexes and the related late Yanshanian deposits in the Nanling Range

地点 (省)	燕山期 复式花岗岩体	燕山早期 主体花岗岩	年龄 (Ma)	燕山晚期 补体花岗岩	年龄 (Ma)	燕山晚期 矿床	年龄 (Ma)	资料来源文献
湖南	中棚—木溪头	黑云母花岗岩	152.0	白云母花岗岩	128.0	鹿井钨矿	—	费天伟等,2012
	瑶岗仙—蛤蟆石	黑云母花岗岩	155.4	白云母花岗岩	133.5	蛤蟆石钨钼矿	133.7	陈依壤,1988; Wang Xiang et al. ,2016,2017,2021
	金鸡岭—螃蟹木	黑云母花岗岩	156.0	二云母花岗岩	138.0	正冲锂铌矿	—	陈汉秋等 ^① ; 付建明等,2007
	人形岭—松树板	黑云母花岗岩	155.9	二云母花岗岩	142.0	荷花坪钨矿	136.0	Wei Daofang et al. ,2007; 郑佳浩等,2012; Li Congying et al. ,2016
	邓阜仙	黑云母花岗岩	153.0	白云母花岗岩	138.0	湘东钨矿	136.8	何苗等,2018; Xiong Yiqu et al. ,2020
	神合堂—红旗岭	黑云母花岗岩	152.0	花岗斑岩	131.0	柿竹园钨矿	134.0	毛景文等,1998,2004
	骑田岭—荒唐岭	黑云母花岗岩	155.0	二云母花岗岩	140.0	南溪锡矿	133.0	李华芹等,2006
	锡田—桐木山	黑云母花岗岩	151.0	二云母花岗岩	114.0	荷树下钨锡矿	141.5	刘国庆等,2008
	九峰—城口	黑云母花岗岩	153.8	二云母花岗岩	143.0	白云仙钨矿	—	陈鸣,1990; 梁军等,2014
	癞子岭—香花岭	黑云母花岗岩	155.0	白云母花岗岩	117.8	香花岭钨钼矿	—	徐启东,1991; 朱金初等,2011
	铜盆寺—影珠山	黑云母花岗岩	151.0	花岗斑岩	135.0	—	—	贾大成等,2003
	五里亭—大云山	黑云母花岗岩	154.9	白云母花岗岩	—	大云山钨矿	144.4	张文兰等,2006; Wang Xiang et al. ,2021
	雅山—新生坳	黑云母花岗岩	155.0	白云母花岗岩	133.2	浒坑钨矿	132.9	楼法生等,2005; Wang Xiang et al. ,2016,2017,2021
	黄沙—铁山垅	黑云母花岗岩	154.9	白云母花岗岩	133.4	铁山垅钨矿	134.2	夏宏远和梁书艺,1987; Wang Xiang et al. ,2016,2017,2021
	漂塘	黑云母花岗岩	155.2	白云母花岗岩	133.4	木梓园钨钼矿	132.0	张文兰等,2009; Wang Xiang et al. ,2017,2021
江西	罗坑—荡坪	黑云母花岗岩	156.1	白云母花岗岩	132.5	荡坪钨矿	133.6	Wang Xiang et al. ,2016,2017,2021
	罗坑—西华山	黑云母花岗岩	155.0	二云母花岗岩	136.0	西华山钨矿	137.0	Wang Liankui et al. ,1980; 李晓峰等,2008
	九龙脑—淘锡坑	黑云母花岗岩	155.2	白云母花岗岩	134.4	淘锡坑钨矿	134.4	Wang Xiang et al. ,2016,2017,2021
	天门山—八仙脑	黑云母花岗岩	151.8	二云母花岗岩	137.3	钨锡矿	133.0	丰成友等,2007; 曾载淋等,2009
	石头窝—红桃岭	黑云母花岗岩	151.4	白云母花岗岩	135.7	钨锡矿	—	丰成友等,2007
	大乌山—塘窝子	黑云母花岗岩	156.0	白云母花岗岩	139.0	塘窝子钨矿	126.0	杜乐天和王文广,2009; 冯尚杰等,2020
	黄陂—打鼓寨	黑云母花岗岩	154.0	二云母花岗岩	132.0	大布钨矿	—	Zhao Kuidong et al. ,2011; 张万良等,2009
	铁木里	—	—	碱长花岗岩	136.6	铁木里钨矿	132.7	Lu Lin et al. ,2018
	张天堂	黑云母花岗岩	153.2	二云母花岗岩	135.8	张天堂钨矿	—	Mao Jianren et al. ,2010
	紫云山—玉华山	黑云母花岗岩	153.0	花岗斑岩	132.0	徐山钨矿	147.1	刘颖,2013; 周强强,2012; 李光来等,2011
	宝山	黑云母花岗岩	156.6	二云母花岗岩	138.0	宝山钨矿	—	朱焱龄等,1981; 丰成友等,2012
	十字头	黑云母花岗岩	160.0	花岗斑岩	135.0	永平铜矿	—	丁昕等,2005; 陈小惠,2009
	大东山—猪蹄石	黑云母花岗岩	155.9	白云母花岗岩	142.0	保耳洞锡矿	—	张敏等,2003; 罗汉民等,2006
	诸广山—棉花坑	黑云母花岗岩	155.0	二云母花岗岩	138.6	325 钨矿	132.0	邓平等,2011; 徐文雄等,2014; 吴俊奇等,1998
	莲花山	黑云母花岗岩	—	正长斑岩	135.8	莲花山钨矿	135.0	满发胜等,1983
广东	飞鹅山	黑云母花岗岩	150.0	花岗斑岩	139.2	飞鹅山钨矿	135.1	汪东波和董国仪,1988; Liu Peng et al. ,2018
	棉土窝—石人嶂	黑云母花岗岩	153.8	二云母花岗岩	132.0	河口山钨矿	135.0	陈康礼,1983; 罗汉民等,2006; 武国忠等,2014
	宝林山—湖仔	黑云母花岗岩	158.0	二云母花岗岩	131.0	337 钨矿	138.0	吴烈勤等,2003; 王学成,1986
	热水—红岭	黑云母花岗岩	162.8	白云母花岗岩	140.0	红岭钨矿	138.0	广东省 937 队,1982; 肖光铭和邱文,2011; 邓平等,2011

地点 (省)	燕山期 复式花岗岩体	燕山早期 主体花岗岩	年龄 (Ma)	燕山晚期 补体花岗岩	年龄 (Ma)	燕山晚期 矿床	年龄 (Ma)	资料来源文献
广东	河田—塌山 碗窑下一珠高塘 石背—帽峰 厚婆岗—飞鹅山 金坑	黑云母花岗岩	154.0	花岗岩	136.8	塌山锡矿	133.6	王德滋等,1995; 闫庆贺等,2018
		黑云母花岗岩	155.6	二云母花岗岩	130.3	白水寨钨矿	—	黄孔文等,2019; 邓焰平,2019
		黑云母花岗岩	158.0	二云母花岗岩	138.0	下庄钨矿	138.0	邓平等,2002; 肖光铭和邱文,2011
		黑云母花岗岩	150.0	花岗岩	139.2	飞鹅山钨矿	135.1	汪东波和董国仪,1988; Liu Peng et al., 2017
		黑云母花岗岩	—	花岗岩	141.1	金坑钨矿	139.3	Qiu Zengwang et al., 2017; 朱沛云等,2018
广西	陶锡湖 姑婆山—新路 望高—华美 姑婆山—盐田岭	黑云母花岗岩	—	花岗岩	136.5	陶锡湖锡矿	139.0	廖静等,2018; 丘增旺等,2017
		黑云母花岗岩	155.0	二云母花岗岩	141.0	烂头山钨锡矿	136.1	蔡明海等,2012; 顾晟彦等,2007; 广西有色 204 队 ^③
		黑云母花岗岩	162.0	细粒花岗岩	148.0	腾冲锡矿	—	黄永高等,2014; 朱金初等,2006)
福建	行洛坑—邓坊	黑云母花岗岩	155.0	白云母花岗岩	137.0	盐田岭锡矿	—	肖荣等,2011; 广西有色 204 队 ^③
		黑云母花岗岩	153.4	二云母花岗岩	135.0	钨(钼)矿	133.4	张家元,1983; 池云星,2005; Wang Xiang et al., 2016,2021

注:(1)“—”表示未发现或未测定;(2)各年龄值的微小误差值不影响本文的结论,故,省略了各年龄值的误差项。

的 U+Th+Y,完全相同于黑云母二长花岗岩中的岩浆锆石。事实上,它们的结晶年龄介于 154.9±1.2 Ma 和 156.1±1.5 Ma 之间(Wang Xiang et al., 2021),也与南岭地区黑云母二长花岗岩中岩浆锆石的结晶年龄(155±5 Ma,据华仁民,2005;李献华等,2007)完全一致。因此,二云母/白云母碱长花岗岩浆侵位时捕获黑云母二长花岗岩的岩浆锆石的存在,说明两者经过了相同的通道。

(5)最直接的证据是,二云母/白云母碱长花岗岩中锆石的热液增生边(结晶于该花岗岩浆定位时)与残留锆石(结晶于黑云母二长花岗岩浆定位时)具有相同的 $n(^{176}\text{Hf})/n(^{177}\text{Hf})$ 初始比值(Wang Xiang et al., 2021),说明两者是同源的。事实上,南岭地区的黑云母二长花岗岩与二云母/白云母碱长花岗岩具有相同的 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 初始比值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值,也说明两者来自同一岩浆源区(沈渭洲等,1994;蒋国豪等,2004)。

笔者等认为,南岭地区的黑云母二长花岗岩(主体花岗岩)与二云母/白云母碱长花岗岩(补体花岗岩)代表来自同一岩浆房中的两次花岗岩浆侵入作用,第一次为~155.0 Ma 的同造山花岗岩(Wang Xiang et al., 2021),第二次为~133.4 Ma 的造山后花岗岩(Wang Xiang et al., 2017),两者共同演绎了一次构造运动(即燕山运动)的两个重要的时间节点:挤压作用高潮和伸展作用高潮。相似的实例也见于世界各地,如:①在 Quérigut 复式花岗岩体内(比利牛斯山,法国)二长花岗岩(主体花岗岩)的定位年龄为 303~312 Ma,而中心的浅色花岗岩(补体花岗岩)的定位年龄为 270~280 Ma(Auréjac et al., 2004);②在 David Lake 复式花岗岩体内(新斯科舍省,加拿大)二长花岗岩(主体花岗岩)的定位年龄为 366 Ma,而周围的浅色花岗岩(补体花岗岩)的定位年龄为 344 Ma(Kontak and Chatterjee, 1992);③在 Guillerics 复式花岗岩体(北东伊比利亚半岛,西班牙)中补体浅色花岗岩(定位年龄为 305.3~299.0 Ma)比主体闪长岩(定位年龄为 323.6 Ma)晚 20 Ma 左右定位(Martínez et al., 2008)。正像南岭地区两类花岗岩具有相同的同位素特征(见上述),在 Budduso 复式花岗岩体(撒丁岛,意大利)中,黑云母二长花岗岩(主体花岗岩)与浅色花岗岩(补体花岗岩)有着完全相同的 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 初始比值和 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,说明两者也是同源的(Barbey et al., 2008)。这暗示了一个非常奇特的构造—岩石学现象:地壳深部的花岗岩浆房可以存活 20 Ma 以上!有些学者认为,岩浆房可以存活 1.4 Ma 以下的时间(Morgan and Blake, 2006);但是, Coleman 等(2004)通过一系列同源岩浆侵入体的锆石年龄确定,岩浆房最大的存活时间可以达到 10 Ma 左右。最近, Wang Xiang 等(2021)通过热力学计算获得,当地壳中 20 km 深处的岩浆房(万天丰等, 2008)的体积大于 475 km³ 时(本文按:佛冈岩体的出露面积>6000 km²;据李献华等,2007),从初始岩浆温度(950℃, Hall, 1996)下降到固相线温度(600℃, London et al., 1989)需要 20 Ma 以上。因此,如果说黑云母二长花岗岩代表岩浆房中部分初始岩浆侵位后的结晶产物,那么二云母/白云母碱长花岗岩则代表岩浆房中大量的初

始岩浆经过 20 Ma 以上的分离结晶作用后的残余岩浆侵位后的结晶产物。

3 成矿机制

在中侏罗世,伊泽奈崎板块开始向欧亚板块俯冲,至晚侏罗世它的俯冲速度达到最大值(Maruyama et al., 1997),造成华南地块处于最大挤压应力状态。具体地说,在~155 Ma,地壳深部的部分熔融作用产生花岗岩浆房,部分花岗岩浆沿着逆冲断层主动侵位形成南岭地区大规模的同造山黑云母二长花岗岩岩基、岩株(中国科学院贵阳地球化学研究所,1979;毛建仁等,1997;翟裕生等,1999;邓平等,2002;Wang Xiang et al., 2021)。至~140 Ma,由于伊泽奈崎板块俯冲方向的改变(Maruyama et al., 1997),华南构造应力场从挤压向伸展转变(李献华等,1997;刘义茂等,2003),原来北东向(北北东向到北东东向的变化范围内)的压扭断裂转为张扭断裂(李中兰和梅勇文,1999)。至~133 Ma,伸展作用达到高潮(Li Jianhui et al., 2013),深部岩浆房中的残余岩浆沿着相同的通道被动侵入,形成细粒二云母/白云母碱长花岗岩(或花岗斑岩)(Wang Xiang et al., 2017)。

然而,在二云母/白云母碱长花岗岩定位之前,深部岩浆房经历了 20 Ma 以上的分离结晶作用,即:初始的黑云母二长花岗岩浆中持续不断地晶出高熔点矿物(Fe—Ti 氧化物、锆石、磷灰石等副矿物,辉石、角闪石、黑云母等暗色矿物和钙质较高的斜长石)。这些高熔点矿物具有两个基本特征:① 几乎不含挥发分(H_2O 、F、B、Cl、 CO_2 等);② 比重大于花岗岩浆。因此,这些高熔点矿物趋于下沉和聚集在岩浆房底部,从而导致岩浆房上部的残余岩浆中高度富集亲石元素(Si、Al、Na、K)、不相容微量元素(Be、Bi、Li、Nb、Pb、Rb、Sn、Ta、U、W、Y)和挥发分(H_2O 、F、B、Cl、 CO_2 等)。在深部岩浆房较大的静岩压力条件下,残余岩浆中越来越富集的挥发分(作为络阴离子)和碱性元素(作为电价平衡阳离子)与钨发生络合作用,形成易溶于流体的碱—钨络合物(如: $[WO_3F]^-$ 、 $[WO_2F_4]^{2-}$ 、 $[WO_3(OH)]^-$ 等;据 Wood and Samson, 2000),或者碱—钨酸络合物(如: $[WO_4]^{2-}$ 、 $[H(WO_4)]^-$ 、 $[H_{10}(WO_4)_6]^{2-}$ 等,据 Wood and Samson, 2000),使得钨高度地富集在含流体的残余岩浆中(Bailey, 1977)。这种由分离结晶作用导致的残余花岗岩浆富集成矿物质的演化已经被许多实验结果所证实(Clarke et al., 2010)。许多作者

已经发现,“成矿物质来自在岩浆房中充分分异后的岩浆岩”(蔡锦辉等,2004;祝新友等,2012),但是他们都没有意识到:一个万吨级钨矿的成矿物质(钨、助溶剂、流体)需要在深部岩浆房中经历 20 Ma 以上的分离结晶作用才可富集起来。本文的观点应该是对于岩浆热液钨矿形成过程中钨富集机制作出的最新颖的也是最合理的解释。

当残余岩浆沿着张性断裂快速定位到某一高度时,由于压力的急剧下降(包括温度的急剧下降),残余岩浆中的流体的溶解度急剧下降,导致流体—熔体之间发生溶离作用(fluid—melt immiscibility),残余岩浆骤然分解为两部分:碱性硅质流体和强硅铝质熔体(Veksler, 2004)。由于前者有很低的密度和黏度,它率先到达张性体系的上端,形成含黑钨矿的石英脉;而后者充填张性体系的余下空间,固结为二云母/白云母碱长花岗岩(图 4)。

至此,我们就能容易地理解伴随着与高分异花岗岩浆有关的钨成矿过程及其地质现象:

(1) 成矿过程包括金属元素的“源—运—储”三部曲(翟裕生等,1999)。其实,它漏掉了最关键的一个阶段:一个金属元素在地壳中的丰度为 10^{-6} 数量级,它如何借助于花岗岩浆作用富集成万吨级的矿床? Wang Xiang 等(2021)的研究揭示,在燕山早期出现的岩浆房中,巨量的黑云母二长花岗岩浆经历了 20 Ma 以上的分离结晶作用,才可产生极度富集成矿物质(钨、助溶剂、流体)的残余岩浆,从而在张性环境中上升、定位而发生成岩—成矿作用。根据矿床学分类,南岭钨矿属于“岩浆期后热液矿床”(陈依壤,1988;池云星,2005;翟裕生等,2011),因为“热液流体完全形成于冷却的岩浆体内”(肖庆辉等,2002²⁵⁷)。然而,侵入到上地壳的花岗岩浆,在较快的冷凝过程中“不可能结晶分离和演化”(张旗,2012),故所谓的“岩浆期后热液矿床”因岩浆冷凝结晶阶段(本文注:岩浆温度越低,岩浆黏度越大)缺乏重力对流(比重大的高熔点矿物下沉而比重轻的气液组分上浮)而无法产生富集成矿物质的热液(详见本文第 2 节第 2 段),故“岩浆期后热液矿床”应该是不成立的。在此,笔者等提出的溶离作用机制揭示了南岭钨矿之“源”的内涵。

(2) 在 20 世纪 60 年代冶金部地质局的姚培慧总工程师就指出:“70% 的矿与小岩体有关”(张旗,2013)。后来,“小岩体成大矿”这一经验性认识得到普遍的认可(赫英,1991;许以明等,2011;祝新友等,2012)。所谓“小岩体”,就是指呈岩株、岩瘤、岩

脉状产出的二云母/白云母碱长花岗岩(经常呈补体花岗岩产于主体花岗岩之中或周围),在南岭地区它们的出露面积通常小于 1 km²(章锦统和夏卫华,1988;祝新友等,2012)。经过 20 Ma 以上的分离结晶作用产生的残余岩浆,虽然体积很小但携带了巨量的成矿物质(钨、助溶剂、流体),在其上升定位过程中发生了熔体与流体之间的溶离作用,溶离后的熔体和流体分别形成二云母/白云母碱长花岗岩和脉型钨矿(本文注:矿脉的体积远远小于岩体的体积,见图 4)。因此,所谓的“小岩体成大矿”暗含了“成矿母岩”与“矿床子体”之间在成因关系上的误解,正确的理解应该为:由残余岩浆一分为二的“小岩体”与“大矿”属于时空上紧密共生在一起的两个同源分体。在此,本文提出的残余岩浆被动侵位方式解释了南岭钨矿之“运”的本质。

(3)无论南岭钨矿表现为何种矿床类型(如:石英脉型、花岗岩型、伟晶岩型、云英岩型、矽卡岩型、破碎带型,据盛继福等,2015),它们都是从上升定位的残余岩浆中溶离出来成矿热液冷凝固晶形成的。所以,矿床类型的不同仅仅反映了形成环境的不同:①石英脉型:成矿热液向上进入张性裂隙后,冷凝而成含黑钨矿石英脉,如湖南宜章县瑶岗仙钨矿;②花岗岩型:成矿热液弥散在燕山早期的二长花岗岩中发生矿化,花岗岩即为矿体,如福建清流县行洛坑钨矿;③伟晶岩型:成矿热液聚集在二云母/白云母碱长花岗岩上方的张性空间,冷凝固晶成伟晶岩,伟晶岩即矿体,如江西崇义县茅坪钨矿;④云英岩型:成矿热液对顶部花岗岩交代同时形成云英岩和黑钨矿,云英岩即为矿体,如江西崇义县牛角窝钨矿;⑤矽卡岩型:成矿热液进入碳酸盐岩,发生矽卡岩化交代作用,同时白钨矿沉淀下来,矽卡岩即为矿体,如湖南郴州市柿竹园钨矿;⑥隐爆角砾岩型:残余岩浆快速向上侵位时,由于温压骤降导致溶离出来的气体急剧膨胀而引起爆炸,通道周围的岩石被炸成棱角状碎块,成矿热液充填在角砾的空隙中形成矿石,如江西大余县八仙脑钨矿。在此,本文提出的伸展环境中成矿热液的终端行为演绎了南岭钨矿之“储”的形式。

(4)所有的南岭钨矿都或多或少地富集其它共生金属元素(Sn、Bi、Mo、U、Nb、Ta 等),构成钨—多金属矿床,如:千里山 W—Sn 矿、师姑山 W—Bi 矿、黄沙坪 W—Mo 矿、石人嶂 W—U 矿、大吉山 W—Nb—Ta 矿。这些共生金属元素无一例外都是花岗岩浆分离结晶作用过程中的不相容元素,从而在一

定温压条件下与某些挥发分发生络合作用(如:B 与 Sn、S 与 Mo、CO₃ 与 U、F 与 Nb—Ta 等),造成钨—多金属共同富集在残余花岗岩浆中,后者上升定位后形成钨—多金属矿床。宏观地说,在燕山晚期(130~140 Ma)南岭地区爆发了一次大规模的与燕山晚期花岗岩有关的多金属(W、Sn、Bi、Mo、U、Nb、Ta 等)成矿作用(表 1)。

(5)华仁民(2005)认为,“花岗岩是地壳物质部分熔融—侵位的产物,而矿床则是在一定的构造动力学条件下由于热和流体的作用使岩石中分散的金属元素迁移—集中的产物,因此,可以产生较大的‘成岩—成矿时差’”,其数值可以为:10 Ma(西华山钨矿;据华仁民,2005)、>10 Ma(大吉山钨矿;据华仁民,2005)、13 Ma(西华山钨矿;据刘家齐等,2002)、10~20 Ma(芙蓉锡矿和柿竹园多金属矿;据华仁民,2005)、20 Ma(芙蓉锡矿;据蒋少涌等,2006。塘唇钨矿;据卢友月等,2019)、>20 Ma(烂头山锡矿;据华仁民,2005)。对照表 2 中的花岗岩和矿床的形成年龄,笔者等认为,如果把(燕山早期的)黑云母二长花岗岩(主体花岗岩)当作“成矿母岩”(见第 1 节内的参考文献)就会产生“成岩—成矿时差”(本文注:成矿年龄测定方法的精度问题导致了上述大小不等的“成岩—成矿时差”,但是,它们的最大值正好接近于表 2 中燕山早期主体花岗岩与燕山晚期钨矿形成年龄的差值);相反,如果把(燕山晚期的)二云母/白云母碱长花岗岩(补体花岗岩)当作“成矿母岩”(见第 1 节内的参考文献),就不会产生“成岩—成矿时差”,正如马星华等(2016)提到的,“部分学者开始注意到补体花岗岩的侵位往往比主体花岗岩晚十几至二十个 Ma,成矿与补体花岗岩侵位年龄接近”。

(6)因为成矿热液来自岩浆房中的残余花岗岩浆,而后者又来自 150~160 Ma 形成的岩浆房中的黑云母二长花岗岩浆,所以,成矿物质很可能继承了初始的黑云母二长花岗岩浆中的同位素成分,导致许多成矿年龄显现为 150~160 Ma。另外,许多钨矿产出在 150~160 Ma 的黑云母二长花岗岩中,它们的同位素成分也不同程度地受到该花岗岩的同化混染。一个有力的证据是,钨矿脉中的热液锆石常常包裹了 155 Ma 黑云母二长花岗岩中的岩浆锆石(Wang Xiang et al., 2021)。在此,笔者等举一个很有代表性的实例,来说明 150~160 Ma 成矿年龄产生的可能原因。张文兰等(2009)利用(矿石)辉钼矿 Re—Os 法测定(江西)木梓园钨钼矿的成矿年龄,

获得三组不同的年龄:150.5~155.0 Ma、142.0~147.0 Ma、132.0±6.3 Ma。尽管该文的结论是,“可能反应了木梓园钨钼矿存在着三个成矿阶段”(张文兰等,2009),但是,根据木梓园矿区“三位一体”(即:黑云母二长花岗岩—白云母碱长花岗岩—钨钼矿)的地质情况(张文兰等,2009),笔者等合理地推测:150.5~155.0 Ma 代表黑云母二长花岗岩浆产生或/和定位的年龄、142.0~147.0 Ma 代表两期岩浆活动的混合(混染)年龄、132.0±6.3 Ma 代表真正的成矿年龄(即二云母/白云母碱长花岗岩的结晶年龄)。完全相同的情况也出现在西华山钨矿和天门山钨矿,前者有 155 Ma、146 Ma 和 137 Ma“三期成矿作用”(李晓峰等,2008),后者具有 133~156 Ma 的“成矿年龄”(曾载淋等,2009)。还有更多的作者发现南岭钨矿具有与上述情况近似的“二期成矿作用年龄”,如:柿竹园钨锡矿的 153.4±0.2 Ma 和 134.0±1.6 Ma 成矿年龄(毛景文等,2004)、茅坪钨矿的 152.5±1.3 Ma 和 130.1±1.2 Ma 成矿年龄(Legros et al., 2020),等等。笔者等认可 150~160 Ma“成矿年龄”的大量存在,这必然是有原因的(如上述),但未必真是成矿作用的年龄(如前述)。关键在于,能否对这个“主成矿期”给出一个自洽性的解释?即:能否建立一个与这个“主成矿期”匹配的包含“源—运—储”成矿过程的成矿模式(即使针对其中的某一个环节)?

尽管大量的 150~160 Ma 成矿年龄被认为是南岭钨矿的“主成矿期”(毛景文等,2007;付建明等,2007;程顺波等,2014),但是基于南岭地区构造应力场转变(从挤压向伸展)发生在~140 Ma(李献华等,1997),笔者等认为,南岭钨矿的“次成矿期”(即 130~140 Ma,据付建明等,2013;程顺波等,2014)代表真正的成矿时代。邓晋福等(1999)认为,“最宏伟的成矿流体系统应来自一个地区岩浆活动旋回的晚期和末期,深部岩浆房接近全部固结的时候”。而 Mitcheeo and Garson(1981)、Fogliata 等(2012)、Wang Xiang 等(2017, 2021)认为,钨锡成矿作用仅与造山后花岗岩有关,因为导致造山后花岗岩侵位的张性断裂也为成矿物质的“运与储”提供了最有利的空间条件(Groves and Bierlein, 2007; Basto Neto et al., 2009)。

4 结论

根据南岭地区的燕山期花岗岩产状和岩性特征及其与构造运动的关系,笔者等认为,燕山早期黑云

母二长花岗岩和燕山晚期二云母/白云母碱长花岗岩来自同一岩浆房,这意味着它们的岩浆房经历了 20 Ma 以上的分离结晶作用,从而在岩浆房上端分异出富含成矿物质的残余花岗岩浆。在燕山晚期,南岭地区的伸展作用达到高潮,该残余花岗岩浆沿着张性断裂快速侵位而发生了流体—熔体之间的溶离作用,其流体部分形成含黑钨矿的石英脉,而其熔体部分固结为二云母/白云母碱长花岗岩。因此,130~140 Ma 的二云母/白云母碱长花岗岩与钨矿是一对同源分体,两者的同步出现展示了(成矿物质)“源—运—储”完整的成矿过程。

本文提出的,广泛出现于南岭地区的燕山早期主体花岗岩(黑云母二长花岗岩)—燕山晚期补体花岗岩(二云母/白云母碱长花岗岩)—燕山晚期钨矿“三位一体”的成矿模式,不仅可以合理地解释与岩浆热液矿床有关的许多地质现象(如:“小岩体成大矿”),而且更新了岩浆热液成矿作用理论(本文的假说具有更好的“源—运—储”成矿过程的自洽性),故在今后的(深部)找矿勘探中将显现出不可估量的指导意义。

致谢:在成文过程中,审稿专家和章雨旭研究员提供了宝贵的意见;南京大学陆建军教授对修改稿作了大量的润色工作;本课题的前期工作得到南京大学陈洁、黄品赞和王耀研究生的有力帮助,在此一并表示衷心的感谢!谨以此文献给南京大学地球科学与工程学院和中国地质学会 100 华诞。

注 释 / Notes

① 陈汉秋,廖兴钰,陈新平. 1985. 湖南省道县湘源矿区正冲矿段钨多金属矿详查地质报告. 郴州:湖南省地质矿产勘查开发局湘南地质勘察院.
Chen Hanqiu, Liao Xingyu, Chen Xinping. 1985#. Detailed geological survey report on the Zhengchong ore section of the Xiangyuan Rb polymetallic deposit in Dao county (Hunan Province). Chenzhou: Xiangnan Geological Survey Institute of Hunan Geology, Ore Prospecting and Development Bureau.
② 广东省冶金地质 937 队, 1982. 广东省翁源县红岭钨矿区补充详细勘探地质报告.
Guangdong Metallurgy and Geology 937 Team. 1982#. Detailed geological survey report on the Hongling tungsten deposit in Wenyan county (Guangdong Province).
③ 广西有色 204 地质队. 1983. 广西贺县水岩坝锡钨矿田成矿规律及找矿前景研究报告.
Guangxi Non-Ferrous Metal 204 Team. 1982#. Survey report on ore-forming regularity and prospecting of the Shuiyanba tungsten—tin deposit in He county (Guangxi Province).
④ 湖南省地质调查院. 2005. 郴州幅(G49-C-003004)1:250000 区域地质调查报告.
Hunan Geological Survey Institute. 2005. Regional geological survey

report on the 1 : 250000 Chenzhou map(G49-C-003004) .
⑤ 马丽艳. 2006. 金属矿床精确定年技术方法及地质应用研究成果报告.
Ma Liyan. 2006. Report of research findings on precise dating technique of metallic deposit and its geological application.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
柏道远,陈建超,马铁球,王先辉. 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): 256~272.
蔡锦辉,韦昌山,毛晓冬,陈开旭,蔡明海. 2004. 湖南芙蓉锡矿田成矿地质特征及成矿模式. 地质科技情报,23(2): 69~76.
蔡明海,赵广春,张诗启,陈艳,徐明,彭振安. 2012. 富铀钨锡多金属矿集区成矿规律及成矿模式. 大地构造与成矿学,36(1): 85~92.
常海亮,汪雄武,王晓地,刘家齐,黄惠兰. 2007. 西华山黑钨矿-石英脉绿柱石中熔融包裹体的成分. 岩石矿物学杂志,26(3): 259~268.
陈赓礼. 1983. 广东北部钨矿床类型与成矿特征. 地质学报,57(2): 142~153.
陈懋弘,章伟,向君峰,杨宗喜,叶会寿. 2009. 江西浒坑钨矿含矿韧性剪切带及其⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学约束. 桂林工学院学报,29(2): 195~206.
陈鸣. 1990. 诸广山岩体斑状和小斑状二云母花岗岩的期次划分及演化特征. 矿物岩石,10(4): 14~21.
陈小惠. 2009. 江西永平十字头钨矿床控矿因素及成因探讨. 江西有色金属,23(3): 5~7.
陈小明,陆建军,刘昌实,赵连泽,王德滋,李惠民. 1999. 桐庐、相山火山—侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报,15(2): 272~278.
陈依壤. 1981. 瑶岗仙脉型钨矿床地质特征与找矿标志. 地质与勘探,17(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,2(1): 62~72.
陈毓川,李献华,李华芹,陈江峰,薛春纪. 2006. 大规模成矿时代年龄精测与成矿谱系(第二章). 北京:地质出版社:58~116.
陈正乐,王永,周永贵,韩凤彬,王平安,宫红良,邵飞,唐湘生,徐金山. 2013. 江西相山火山—侵入杂岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. 中国地质,40(1): 217~231.
陈郑辉,王登红,屈文俊,陈毓川,王平安,许建祥,张家菁,许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘钨坑钨矿的地质特征与成矿时代. 地质通报,25(4): 496~501.
程顺波,付建明,马丽艳,卢友月. 2014. 南岭地区成钨、成锡花岗岩组合的几个判别标志. 华南地质与矿产,30(4): 352~260.
池云星. 2005. 浅谈行洛坑钨矿细脉型矿体地质特征. 有色金属(矿山部分),57(3): 20~21.
邓晋福,莫宣学,赵海玲,罗照华,赵国春,戴圣潜. 1999. 岩石圈/软流圈系统的大灾害与巨型矿集区形成. 北京:地质出版社:36~43.
邓平,舒良树,谭正中,吴烈勤. 2002. 南岭中段中生代构造—岩浆活动与铀成矿序列. 铀矿地质,18(5): 257~263.
邓平,凌洪飞,沈渭洲,孙立强,朱捌,黄国龙,谭正中. 2011. 粤北热水岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征研究. 地质学报,85(8): 1274~1283.

邓焰平. 2019. 广东英德白水寨钨矿成矿地质特征及成矿机制. 世界有色金属,4(3): 80~81.
地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用. 北京:地质出版社:1~471.
丁昕,蒋少涌,倪培,顾连兴,姜耀辉. 2005. 江西武山和永平铜矿花岗岩体锆石 SIMS U-Pb 年代学. 高校地质学报,11(3): 383~389.
董树文,张岳桥,龙长兴,杨振宇,季强,王涛,胡建民,陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. 地质学报,81(11): 1449~1461.
董子成. 1991. 广西新路锡矿田的稀土元素地球化学特征. 桂林冶金地质学院学报,11(3): 277~286.
杜乐天,王文广. 2009. 华南花岗岩型钨矿找矿新目标: 绢英岩化钨矿类型. 铀矿地质,25(2): 85~90.
方贵聪,王登红,陈毓川,黄凡,王岩,吴家旭,胡世辅. 2020. 南岭萤石矿床成矿规律及成因. 地质学报,94(1): 140~178.
费天伟,刘翔,覃金宁,夏泽群,姜必广,梅水泉. 2012. 湖南汝城三江口钨矿地质特征及成因探讨. 南华大学学报(自然科学版),26(3): 39~46.
丰成友,许建祥,曾载淋,张德全,屈文俊,余宏全,李进文,李大新,杜安道,董英君. 2007. 赣南天门山—红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义. 地质学报,81(7): 358~369.
丰成友,曾载淋,王松,梁景时,丁明. 2012. 赣南砂卡岩型钨矿成岩成矿年代学及地质意义——以焦里和宝山矿床为例. 大地构造与成矿学,36(3): 337~349.
冯尚杰,陈卫锋,王洪作,凌洪飞,赵葵东,陈培荣. 2020. 赣中地区晚中生代高分异 A 型花岗岩的厘定及其成因研究. 地质学报,94(4): 1227~1247.
付建明,马昌前,谢才富,张业明,彭松柏. 2004. 湖南骑田岭岩体东缘莱岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 中国地质,31(1): 96~100.
付建明,李华芹,屈文俊,杨晓君,魏君奇,刘国庆,马丽艳. 2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究. 中国地质,34(4): 651~656.
付建明,李祥能,程顺波,徐德明,马丽艳,陈希清. 2009. 粤北连平地区钨锡多金属矿床成矿时代研究. 中国地质,36(6): 1331~1339.
付建明,李华芹,马丽艳,程顺波,卢友月,李祥能,刘重芄. 2013. 粤北乐昌市和尚田钨锡多金属矿成矿时代及其地质意义. 地质学报,87(9): 1349~1358.
顾晟彦,华仁民,戚华文. 2007. 广西新路—水岩坝钨锡矿田的成因探讨. 矿床地质,26(7): 265~276.
广东省地质矿产局. 1988. 广东省区域地质志. 北京:地质出版社:1~941.
郭建,李子颖,黄志章,李秀珍,聂江涛,王健. 2014. 相山钨矿田科学钻探围斑岩的厘定及其地质意义. 矿床地质,33(S1): 195~196.
郭伟革,蒋加燥,甘先平. 2010. 湖南瑶岗仙钨矿床地质特征及成矿模式探讨. 矿产与地质,24(4): 308~313.
何苗,刘庆,孙金凤,牛睿. 2018. 湘东地区锡田印支期花岗岩的地球化学特征及其构造意义. 岩石学报,34(7): 2065~2086.
赫英. 1990. 花岗岩岩体成矿作用的地质证据. 河北地质学院学报,13(3): 285~292.
赫英. 1991. 赣、湘南与成矿有关的复式小岩体若干问题的探讨. 矿产与地质,5(1): 17~23.
胡广,胡文瑄,曹剑,姚素平,王学寅,刘友祥. 2011. 闽西下白垩统坂头组锆石 U-Pb 年龄及地层对比. 地球科学进展,26(9): 933~943.

华仁民. 2005. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩—成矿的时间差及其地质意义. 地质论评, 51(6): 633~639.

黄典豪, 吴澄宇, 韩久竹, 张巧大. 1989. 江西足洞和关西花岗岩体的铀—铅、钷—钆体系同位素特征及其地质意义. 岩石学报, 5(1): 37~48.

黄孔文, 郭敏, 林杰春, 胡启锋, 王邱春, 汤珂, 周晗, 黄一栩. 2019. 粤北白沙岩体早白垩世细粒花岗岩年代学、地球化学特征及成因意义. 华南地质与矿产, 35(2): 145~157.

黄永高, 冯佐海, 付伟, 康志强, 孙如良, 余勇. 2014. 桂东北花山钨矿床流体包裹体初步研究. 矿物学报, 34(1): 117~124.

贾大成, 胡瑞忠, 赵军红, 谢桂青. 2003. 湘东北中生代望湘花岗岩体岩石地球化学特征及其构造环境. 地质学报, 77(1): 98~103.

蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 赵军红, 唐群力. 2004. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究. 矿物学报, 24(3): 253~256.

蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 凌洪飞, 倪培. 2006. 华南与花岗岩有关的一种新类型的锡成矿作用: 矿物化学、元素和同位素地球化学证据. 岩石学报, 22(1): 2509~2516.

李光来, 华仁民, 韦星林, 王旭东, 黄小娥. 2011. 江西中部徐山钨铜矿床单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线定年及其地质意义. 地球科学(中国地质大学学报), 36(2): 282~287.

李海立, 肖惠良, 范飞鹏, 陈乐柱, 刘建雄, 陈叙涛. 2016. 广东潮安飞鹅山钨钼多金属矿床辉钨矿 Re-Os 同位素定年. 地质学报, 90(2): 231~239.

李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社: 1~75.

李华芹, 路远发, 王登红, 陈毓川, 杨红梅, 郭敬, 谢才富, 梅玉萍, 马丽艳. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义. 地质论评, 52(1): 113~121.

李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 26(2): 14~31.

李献华, 李武显, 李正祥. 2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报, 52(9): 981~991.

李晓峰, Yasushi W, 华仁民, 毛景文. 2008. 华南地区中生代 Cu—(Mo)—W—Sn 矿床成矿作用与洋岭/转换断层俯冲. 地质学报, 82(5): 625~637.

李晓峰, 冯佐海, 肖荣, 宋慈安, 杨锋, 王翠云, 康志强, 毛伟. 2012. 桂东北钨锡稀有金属矿床的成矿类型、成矿时代及其地质背景. 地质学报, 86(11): 1713~1725.

李中兰, 梅勇文. 1999. 赣南钨矿分布规律及隐伏矿床预测. 江西地质, 13(4): 276~282.

梁军, 李剑, 盛丹, 陈小兰, 宋维国. 2014. 湖南诸广山南体花岗岩地区钨锡矿成矿规律与成矿预测. 西部资源, 7(5): 131~135.

廖静, 郭丽荣, 钱龙兵. 2018. 广东金坑铜锡铅锌矿床成岩成矿时代及成因探讨. 资源环境与工程, 32(2): 212~219.

刘国庆, 伍式崇, 杜安道, 付建明, 杨晓君, 汤质华, 魏君琦. 2008. 湘东锡田钨锡矿区成岩成矿时代研究. 大地构造与成矿学, 32(1): 63~71.

刘家齐. 1989. 西华山花岗岩及其成矿作用. 中国地质科学院院报, (总 19): 84~104.

刘家齐, 汪雄武, 曾贻善, 王晓地. 2002. 西华山花岗岩及钨锡铍矿田成矿流体演化. 华南地质与矿产, 18(3): 91~96.

刘细元, 钟达洪, 袁建芽, 谢清辉, 李宜春. 2004. 扬子板块与华南板块对接带萍乡区段构造特征. 地质力学学报, 10(4): 372~380.

刘义茂, 许继峰, 戴撞摸, 李献华, 邓希光, 王强. 2003. 骑田岭花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义. 中国科学(D 辑), 32(增刊): 50~59.

刘颖. 2013. 江西省玉华山地区紫云山岩体年代学、地球化学特征及地质意义. 导师: 潘家永. 南昌: 东华理工大学博士学位论文: 1~65.

楼法生, 沈渭洲, 王德滋, 舒良树, 吴富江, 张芳荣, 于津海. 2005. 江西武功山穹窿复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究. 地质学报, 79(5): 636~644.

卢友月, 付建明, 张国培, 郑宗皓, 李楠, 程顺波, 秦拯纬, 马丽艳. 2019. 粤东塘唇石英脉型钨(锡)矿床地质特征、成矿时代及其找矿意义. 地球科学, 44(2): 388~398.

罗汉民, 肖光铭, 唐铿. 2006. 粤北城口—九连钨多金属成矿带特征及找矿方向. 资源调查与环境, 27(2): 127~135.

马星华, 乔石磊, 周振华. 2016. 南岭花岗岩质复式岩体成因及钨锡多金属成矿作用研究现状. 矿床地质, 35(增刊 1): 89~90.

满发胜, 白玉珍, 倪守斌, 黎彤. 1983. 莲花山钨矿床同位素地质学初步研究. 矿床地质, 4(4): 35~42.

毛建仁, 陶奎元, 杨祝良, 宋云鹤, 薛怀民. 1997. 中国东南部中生代陆内岩浆作用的动力学背景. 火山地质与矿产, 18(2): 97~104.

毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995. 湖南千里山花岗岩体的 Nd—Sr 同位素及岩石成因研究. 矿床地质, 14(3): 235~242.

毛景文, 李红艳, 宋学信. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学. 北京: 地质出版社: 1~215.

毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 11(1): 45~55.

毛景文, 谢桂清, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 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. 岩石学报, 23(10): 2329~2338.

梅勇文. 1985. 钨的成矿岩体特征及其判别标志. 地质论评, 31(6): 531~538.

梅勇文. 1994. 脉钨矿床的多次成岩成矿作用. 长春地质学院学报, 42(2): 148~154.

穆治国, 黄福生, 卢德揆. 1988. 华南某些含钨花岗岩的 K-Ar 年龄. 岩石矿物学杂志, 7(2): 109~118.

南京大学地质系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社: 1~395.

倪师军. 1987. 337 铀矿床 REE 地球化学特征与成矿物质来源. 成都地质学院学报, (4): 18~28.

倪永进, 单业华, 伍式崇, 聂冠军, 张小琼, 朱浩峰, 梁新权. 2015. 湖南东南部湘东钨矿区老山拗断层性质的厘定及其对找矿的启示. 大地构造与成矿学, 39(3): 436~445.

彭中用, 陈卫锋, 毛玉锋, 方启春, 唐湘生, 凌洪飞. 2018. 江西相山钨矿田燕山期岩浆活动的多阶段性及其意义. 地质论评, 64(6): 1413~1437.

丘增旺, 王核, 闫庆贺, 李莎莎, 汪礼明, 卜安, 魏小鹏, 李沛, 慕生禄. 2017. 广东陶锡湖锡多金属矿床花岗岩斑岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学、Hf 同位素组成及其地质意义. 大地构造与成矿学, 41(3): 516~532.

邱检生, 蒋少涌, 胡建, McInnes B I A, 凌洪飞. 2006. 同位素年代学研究对江西会昌密坑山锡矿田成矿作用的启示. 岩石学报, 22(10): 2444~2450.

沈渭洲, 徐士进, 王银喜, 杨杰东. 1994. 西华山花岗岩的 Nd—Sr 同位素研究. 科学通报, 39(2): 154~156.

盛继福, 陈郑辉, 刘丽君, 应立娟, 黄凡, 王登红, 王家欢, 曾乐. 2015. 中国钨矿成矿规律概要. 地质学报, 89(6): 1038~1050.

苏慧敏, 谢桂青, 孙嘉, 张承师, 程彦博. 2010. 江西铜坑钨矿和红山铜矿含矿斑岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 26(3): 819~829.

万天丰, 王亚妹, 刘俊来. 2008. 中国东部燕山期和四川期岩石圈构造滑脱与岩浆起源深度. 地学前缘, 15(3): 1~35.

汪东波,董国仪. 1988. 广东省潮安厚婆垌锡矿床的地球化学特征. 地质找矿论丛,3(1):76~84.

汪相,Griffin W L,王志成,周新民,汪传胜. 2003. 湖南丫江桥花岗岩中锆石的 Hf 同位素地球化学. 科学通报,48(4):379~382.

汪洋,邓晋福. 2004. 湘东北地区燕山晚期强过铝质花岗岩的岩石化学特征及构造背景探讨. 大地构造与成矿学,28(1):60~68.

王德滋,陈绍海,刘昌实,沈渭洲,楚雪君. 1995. 粤东塌山含锡花岗岩斑岩原生铝质矿物特征和成因. 矿物学报,15(3):249~253.

王登红,陈毓川,李华芹,陈正宏,余金杰,路远发,李奇崛. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义. 地质通报,22(1):50~56.

王登红,李华芹,秦燕,梅玉萍,陈郑辉,屈文俊,王彦斌,蔡红,龚述清,何晓平. 2009. 湖南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学研究. 岩矿测试,28(3):201~208.

王登红,陈郑辉,陈毓川,唐菊兴,李建康,应立娟,王成辉,刘善宝,李立兴,秦燕,李华芹,屈文俊,王彦斌,陈文,张彦. 2010. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据. 地质学报,84(7):1030~1040.

王登红,李超,陈郑辉,王成辉,黄凡,屈文俊. 2012. 辉钼矿在矿床学研究中的新用途(1):稀土元素示踪. 吉林大学学报(地球科学版),42(6):1647~1655.

王洪荣,邵维江,周邓,赵陟君. 2020. 江西桃山铀矿田大布铀矿床成矿模式研究. 世界核地质科学,37(4):263~270.

王利玲,张树明,许迅,张鑫,阮小语,蓝德初,吴志春,戚佳伟. 2020. 江西相山矿田北部产铀花岗岩斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成因类型. 地质通报,39(1):62~79.

王强,赵振华,简平,熊小林,包志伟,戴慎漠,许继峰,马金龙. 2005. 华南腹地白垩纪 A 型花岗岩类或碱性侵入岩年代学及其对华南晚中生代构造演化的制约. 岩石学报,21(3):795~808.

王学成. 1986. 贵东岩体地质地球化学特征及 229 矿床成因研究. 导师:张祖还. 南京:南京大学地球科学系硕士学位论文.

武国忠,王登红,胡耀国,王成辉. 2014. 粤北两类钨矿的成矿时代——以棉土窝和禾尚田为例. 大地构造与成矿学,38(2):325~333.

巫建华,刘飞宇,刘帅. 2011. 峡江—广丰和三南—寻乌火山岩带晚中生代粗面岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 地质论评,57(1):125~131.

巫建华,徐勋胜,刘帅. 2012. 赣南—粤北地区晚白垩世早期长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报,31(8):1296~1305.

巫建华,劳玉军,谢国发,张婧妍,吴仁贵,聂逢君. 2017. 江西相山铀矿田火山岩岩系地层学、年代学特征及地质意义. 中国地质,44:974~992.

吴俊奇,闵茂中,翟建平,罗兴章,赖贻堂,魏元泵. 1998. 华南诸广山复式岩体中段花岗岩的碱交代蚀变. 岩石学报,14(1):90~98.

吴烈勤,谭正中,刘汝洲,黄国龙. 2003. 粤北下庄矿田铀矿成矿时代探讨. 铀矿地质,19(1):28~33.

夏宏远,梁书艺. 1987. 黄沙—铁山垄含钨花岗岩演化和稀土元素地球化学. 地球化学,16(4):330~340.

夏卫华. 1985. 矿床研究中一些值得探讨的问题. 地质科技情报,4(1):150~154.

肖光铭,郇文. 2011. 粤北地区钨成矿规律研究. 华南地质与矿产,27(2):132~140.

肖庆辉,邓晋福,马大铨. 2002. 花岗岩研究思维与方法. 北京:地质出版社:1~294.

肖荣,李晓峰,冯佐海. 2011. 广西花山—姑婆山地区钨锡多金属矿床成矿规律. 矿物学报,31(增刊):653~654.

许建祥,曾载淋,李雪琴,刘俊生,陈郑辉,刘善宝,郭春丽,王成辉. 2007. 江西寻乌铜坑嶂钼矿床地质特征及其成矿时代. 地质学报,81(7):924~928.

许以明,张怡军,雷泽恒. 2011. 南岭中段钨资源总量预测. 华南地质与矿产,27(1):39~45.

徐启东. 1991. 湖南香花岭复式碱长花岗岩体侵入期次关系的识别. 湖南地质,10(4):289~294.

徐文雄,谭忠银,罗春梧,许丽丽,黄国龙. 2014. 棉花坑铀矿床花岗岩质脉岩地球化学特征及其与铀成矿的关系. 铀矿地质,30(6):345~355.

闫庆贺,王核,丘增旺,王敏,慕生禄,汪礼明,卜安,王赛蒙,李莎莎,魏小鹏,李沛. 2018. 粤东塌山斑岩型锡多金属矿床锆石及锡石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成及其地质意义. 大地构造与成矿学,42(4):718~731.

杨明桂,黄水保,楼法生,唐维新,毛素斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用. 中国地质,36(3):528~543.

杨明桂,王光辉. 2020. 论华夏成矿省燕山期岩浆成矿大爆发的核幔式扩展模式与动力机制——纪念李四光先生诞辰 130 周年. 地质力学学报,26(1):1~12.

杨世义,刘姝群,张秀兰,陈长江. 1986. 湘南宝坪地区两类斑岩及其成矿作用的研究. 北京:地质出版社:157~167.

杨水源,蒋少涌,赵葵东,姜耀辉,范洪海. 2012. 江西相山铀矿田邹家山矿床中流纹斑岩的锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学与 Sr—Nd—Hf 同位素组成. 岩石学报,28(12):3915~3928.

杨水源,蒋少涌,赵葵东,姜耀辉,凌洪飞,陈培荣. 2013. 江西相山铀矿田如意亭剖面火山岩的年代学格架及其地质意义. 岩石学报,29(12):4362~4372.

杨岳衡,杨明,王浩,杨进辉,吴福元. 2021. 黑钨矿微区原位 U-Pb 年代学方法及应用. 中国科学(地球科学),51(1):171~174.

叶际伟,邓国政,皮俊明,王正友. 2000. 盘古山钨矿深部矿床赋存特征分析及找矿前景. 中国钨业,15(4):17~19.

喻良桂. 2007. 雅山花岗岩演化与钽锂成矿. 江西有色金属,21(2):7~10.

曾载淋,张永忠,朱祥培,陈郑辉,王成辉,屈文俊. 2009. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铼-钨同位素定年及其地质意义. 岩矿测试,28(3):209~214.

翟裕生,邓军,彭润民. 1999. 中国区域成矿若干问题探讨. 矿床地质,18(4):323~332.

翟裕生,姚书振,蔡克勤. 2011. 矿床学(第三版). 北京:地质出版社:1~413.

章锦统,夏卫华. 1988. 黄玉碱长花岗岩及其矿床. 地质科技情报,7(4):77~84.

张家菁,吴木森,陈郑辉,刘善宝,李立兴,邱良明,吴斌,黄安杰,祝平俊. 2009. 江西省上饶县金竹坪钼多金属矿床成矿年代学研究. 岩矿测试,28(3):228~232.

张家菁,王登红,刘善宝,陈郑辉,施光海,王静,王永庆,魏英文. 2012. 江西省铅山县篁碧铅锌矿区同位素年代学和稳定同位素组成. 岩石学报,28(10):3325~3333.

张家元. 1983. 行洛坑花岗岩地球化学特征. 福建地质,2(3):33~45.

张敏,陈培荣,张文兰,陈卫锋,李惠民,张孟群. 2003. 南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因. 地球化学,32(6):529~539.

张旗. 2012. 花岗质岩浆能够结晶分离和演化吗? 岩石矿物学杂志,31(2):252~260.

张旗. 2013. 关于“小岩体为什么有利于成矿”的探讨. 甘肃地质,22(4):1~7.

张万良,邹茂卿,邵飞,聂斌. 2009. 桃山矿田脉岩—构造带地质特

- 征及其与铀成矿的关系. 世界核地质科学, 26(1):38~42.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 陈培荣, 李惠民. 2006. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究. 地质学报, 80(7):956~962.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 屈文俊, 季建清. 2009. 赣南漂塘钨矿花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定. 地质学报, 83(5):659~670.
- 赵希林, 余明刚, 刘凯, 毛建仁, 叶海敏, 邢光福. 2012. 粤东地区早白垩世花岗岩岩浆作用及其成因演化. 地质评论, 58(5):965~977.
- 赵振华, 包志伟, 张伯友. 2000. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的壳幔作用背景. 中国科学(D辑), 30(增刊):161~168.
- 郑佳浩, 郭春丽. 2012. 湘南王仙岭花岗岩体的锆石 U-Pb 年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及其地质意义. 岩石学报, 28(1):75~90.
- 中国科学院贵阳地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学. 北京:科学出版社:1~421.
- 周亮. 1999. 武夷山西坡含锡花岗岩及其成矿控制作用. 江西地质, 13(1):36~39.
- 周强强. 2012. 江西玉华山盆地玉山超单元地质特征及 U-Pb 定年. 导师:潘家永. 南昌:东华理工大学硕士学位论文:1~60.
- 周玉振, 高承树, 洪应龙, 韩志新, 温隆辉. 2010. 西华山花岗岩成岩成矿及矿化模型. 中国钨业, 25(1):12~16.
- 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 程细音, 何鹏, 傅其斌, 李顺庭. 2012. 南岭锡钨多金属矿区碱长花岗岩的厘定及其意义. 中国地质, 39(2):359~381.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山—姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义. 岩石学报, 22(9):2270~2278.
- 朱金初, 王汝成, 陆建军, 张辉, 张文兰, 谢磊, 章荣清. 2011. 癞子岭花岗岩体分异演化和成岩成矿. 高校地质学报, 17(3):381~392.
- 朱沛云, 颜伦明, 卜安, 许典葵, 钱龙兵, 郭丽荣. 2018. 广东金坑铜锡铅锌矿床成矿地质体研究. 矿产勘查, 9(1):33~44.
- 朱焱龄, 李崇佑, 林运淮. 1981. 赣南钨矿地质. 南昌:江西人民出版社:406~420.
- Aur  jac J B, Gleizes G, Diot H, Bouchez J L. 2004. The Qu  rigut Complex (Pyrenees, France) revisited by the AMS technique: A syntectonic pluton of the Variscan dextral transpression. Bulletin de la Société Géologique de France, 175:157~174.
- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, Wang Xianhui. 2005&. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(4):256~272.
- Bailey J C. 1977. Fluorine in granitic rocks and melts: A review. Chemical Geology, 19:1~42.
- Barbey P, Gasquet D, Pin C, Bourgeix A L. 2008. Igneous banding, schlieren and mafic enclaves in calc-alkaline granites: the Budduso pluton (Sardinia). Lithos, 104:147~163.
- Bastos Neto A C, Pereira V P, Ronchi L H, de Lima E F, Frantz J C. 2009. The world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, Re, Li) deposit and the massive cryolite associated with the albite-enriched facies of the Madeira A-type granite, Pitinga mining district, Amazonas state, Brazil. The Canadian Mineralogist, 47:1329~1357.
- Cai Jinhui, Wei Changshan, Mao Xiaodong, Chen Kaixu, Cai Minghai. 2004&. Characters of mineralizing geology and metallogenic pattern of Furong tin orefield in southern Hunan Province. Geological Science and Technology Information, 23(2):69~76.
- Cai Minghai, Zhao Guangchun, Zhang Shiqi, Chen Yan, Xu Ming, Peng Zhenan. 2012&. Metallogeny of the Fuchuan—Hezhou—Zhongshan W—Sn—Polymetallic Metallogenic Province. Geotectonica et Metallogenia, 36(1):85~92.
- Castro A, Fernandez C. 1998. Granite intrusion by externally induced growth and deformation of magma reservoir, the example of the Plasenzuela pluton, Spain. Journal of Structural Geology, 20:1219~1228.
- Chang Hailiang, Wang Xiongwu, Wang Xiaodi, Liu Jiaqi, Huang Huilan. 2007&. The composition of melt inclusions in beryl from wolframite-quartz veins in Xihuashan, Jiangxi Province. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(3):259~268.
- Chen Gengli. 1983&. Types and characteristics of tungsten ore deposits in northern Guangdong, China. Acta Geological Sinica, 57(2):142~153.
- Chen Maohong, Zhang Wei, Xiang Junfeng, Yang Zongxi, Ye Huishou. 2009&. Characteristics of the ore bearing ductile shear zones at Hukeng tungsten deposit and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronological constraints. Journal of Guilin University of Technology, 29(2):195~206.
- Chen Ming. 1990&. The rock partition and evolution characteristics of porphyritic and small-porphyritic two-mica granite in Zhuguangshan granite complex. Journal of Mineralogy and Petrology, 10(4):14~21.
- Chen Xiaohui. 2009&. On the ore-controlled factors and causes of Yongping Shizitou molybdenum deposit (Jiangxi Province). Jiangxi Nonferrous Metals, 23(3):5~7.
- Chen Xiaoming, Lu Jianjun, Liu Changshi, Zhao Lianze, Wang Dezi, Li Huimin. 1999&. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic—intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas. Acta Petrologica Sinica, 15(2):272~278.
- Chen Yirang. 1981&. Geological features and ore-prospecting indications in the Yaogangxian vein-type tungsten deposit. Geology and Prospecting, 17(2):25~30.
- Chen Yirang. 1988&. Geological and geochemical characteristics and diagenetic—minerogenetic processes of Yaogangxian granite. Mineral Resource and Geology, 2(1):62~72.
- Chen Yuchuan, Li Xianhua, Li Huaqing, Chen Jiangfeng, Xue Chunji. 2006&. Precise dating of large-scale mineralization and ore-forming pedigree. Beijing:Geological Publishing House:58~116.
- Chen Zhengle, Wang Yong, Zhou Yonggui, Han Fengbing, Wang Pingan, Gong Hongliang, Shao Fei, Tang Xiangsheng, Xu Jinshan. 2013&. SHRIMP U-Pb dating of zircons from volcanic—intrusive complexes in the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province, and its geological implications. Geology in China, 40(1):217~231.
- Chen Zhenhui, Wang Denghong, Qu Wenjun, Chen Yuanchuan, Wang Pingan, Xu Jianxiang, Zhang Jiajing, Xu Minlin. 2006&. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province, China. Geological Bulletin of China, 25(4):496~501.
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Ma Liyan, Lu Youyue. 2014&. Some discrimination criterions of W/Sn mineralization related granitoids in Nanling Range. Geology and Mineral Resources of South China, 30(4):352~360.
- Chi Yunxing. 2005&. Initial discussion of geological characteristic of fine-vein type of tungsten deposit of Xingluokeng. Journal of Non-Ferrous Metal, 57(3):20~21.
- Clarke D B, Wunder B, Förster H J, Rhede D, Hahn A. 2010. Experimental investigation of near-liquidus andalusite—topaz relations in synthetic peraluminous haplogranites at 200 MPa.

- Mineralogical Magazine, 73:997~1007.
- Coleman D S, Gray W, Glazner A F. 2004. Rethinking the emplacement and evolution of zoned plutons: Geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne Intrusive Suite, California. *Geology*, 32:433~436.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Zhao Guochun, Dai Shenqian. 1999. Formation of Large Disaster and Giant Ore Concentration Area of Lithosphere/Asthenosphere System. Beijing: Geological Publishing House:36~43.
- Deng Ping, Shu Liangshu, Tan Zhengzhong, Wu Lieqin. 2002&. Mesozoic tectonomagmatic activity and uranium metallogenetic sequence in mid-Nanling tectonic belt. *Uranium Geology*, 18(5): 257~263.
- Deng Ping, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Sun Liqiang, Zhu Ba, Huang Guolong, Tan Zhengzhong. 2011&. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of Reshui granitic batholith, northern Guangdong. *Acta Geological Sinica*, 85(8):1275~1283.
- Deng Yanping. 2019&. Geological characteristics and metallogenic mechanism of Yinde white water village WO₃ deposit in Guangdong Province. *World Nonferrous Metals*, 4(3):80~81.
- Department of Geology (Nanjing University). 1981#. Granitoids with Different Ages and Their Metallogenetic Relations in South China. Beijing: Science Press:1~395.
- Ding Xin, Jiang Shaoyong, Ni Pei, Gu Lianxing, Jiang Yaohui. 2005&. Zircon SIMS U-Pb geochronology of host granitoids in Wushan and Yongping copper deposits, Jiangxi Province. *Geological Journal of China University*, 11(3):383~389.
- Dong Shuwen, Zhang Yueqiao, Long Changxing, Yang Zhenyu, Ji Qiang, Wang Tao, Hu Jianmin, Chen Xuanhua. 2007&. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan Movement. *Acta Geological Sinica*, 81(11):1449~1461.
- Dong Zicheng. 1991&. The REE geochemical characteristics in the Xinlu tin orefield, Guangxi. *Journal of Guilin College of Geology*, 11(3):277~286.
- Du Letian, Wang Wenguang. 2009. New exploration target for granite-type uranium deposits in South China: A case study on uranium mineralization of sericitic alteration. *Uranium Geology*, 25(2):85~90.
- Fang Guicong, Wang Denghong, Chen Yuchuan, Huang Fan, Wang Yan, Wu Jiaxu, Hu Shifu. 2020&. Metallogenic regularities and genesis of the fluorite deposits in Nanling region. *Acta Geologica Sinica*, 94(1):140~178.
- Fei Tianwei, Liu Xiang, Qin Jinning, Xia Zequn, Jiang Biguang, Mei Shuiquan. 2012&. Geological characteristics and genesis of uranium in Sanjiangkou orefield, Rucheng City, Hunan Province. *Journal of University of South China (Science and Technology)*: 26(3), 39~46.
- Feng Chengyou, Xu Jianxiang, Zeng Zhailin, Zhang Dequan, Qu Wenjun, She Hongquan, Li Jinwen, Li Daxin, Du Andao, Dong Yingjun. 2007&. Zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os dating in Tianmenshan—Hongtaoling tungsten—tin orefield, southern Jiangxi Province, China, and its geological implication. *Acta Geological Sinica*, 81(7):358~369.
- Feng Chenyou, Zeng Zhailin, Wang Song, Liang Jingshi, Ding Ming. 2012&. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the skarn-type tungsten deposits in southern Jiangxi Province, China, and geological implications: Exemplified by the Jiaoli and Baoshan tungsten polymetallic deposits. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3):337~349.
- Feng Shangjie, Chen Weifeng, Wang Hongzuo, Ling Hongfei, Zhao Kuidong, Chen Peirong. 2020&. Identification and petrogenesis of a highly differentiated A-type granite formed in the late Mesozoic, central Jiangxi Province. *Acta Geologica Sinica*, 94(4):1227~1247.
- Fogliata A S, Báez M A, Hagemann S G, Santos J O, Sardi F. 2012. Post-orogenic, Carboniferous granite-hosted Sn—W mineralization in the Sierras Pampeanas Orogen, Northwestern Argentina. *Ore Geology Reviews*, 45:16~32.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, Zhang Yeming, Peng Songbai. 2004&. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, south China, and its significance. *Geology in China*, 31(1):96~100.
- Fu Jianming, Li Huaqing, Qu Wenjun, Yang Xiaojun, Wei Junqi, Liu Guoqing, Ma Liyan. 2007&. Re-Os isotope dating of the Da'ao tungsten—tin deposit in the Jiuyi Mountains, southern Hunan Province. *Geology in China*, 34(4):651~656.
- Fu Jianming, Li Xiangneng, Cheng Shunbo, Xu Deming, Ma Liyan, Chen Xiqing. 2009&. Metallogenic ages of tungsten—tin polymetallic deposits in Lianping area, northern Guangdong Province. *Geology in China*, 36(6):1331~1339.
- Fu Jianming, Li Huaqin, Ma Liyan, Cheng Shunbo, Lu Youyue, Li Xiangneng, Liu Chongpeng. 2013&. Metallogenic age of the Heshangtian tungsten—tin polymetallic deposit in northern Guangdong Province and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 87(9):1349~1358.
- Groves D I, Bierlein F P. 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems. *Journal of the Geological Society*, 164:19~30.
- Gu Shenyan, Hua Renmin, Qi Huawen. 2007&. A genetic study of Xinlu—Shuiyanba W—Sn orefield, northeast Guangxi. *Mineral Deposits*, 26(7):265~276.
- Guangdong Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988#. Regional Geology of Guangdong Province. Beijing: Geological Publishing House:1~941.
- Guiyang Institute of Geochemistry (Chinese Academy of Sciences). 1979#. Geochemistry of Granitoids in South China. Beijing: Science Press:1~421.
- Guo Jian, Li Ziyin, Huang Zhizhang, Li Xiuzhen, Ni Jiangtao, Wang Jian. 2014#. Determination of felsite porphyry in the Xiangshan uranium orefield and its geological implication. *Mineral Deposits*, 33(S1):195~196.
- Guo Weige, Jiang Jiazao, Gan Xianping. 2010&. Research on the ore deposit geologic characteristics and metallogenic model of Yaogangxian tungsten deposit, Hunan Province. *Mineral Resource and Geology*, 24(4):308~313.
- Hall A. 1996. *Igneous Petrology* (2nd edition). London: Longman Group UK Ltd., 549~555.
- He Miao, Liu Qing, Sun Jinfeng, Niu Rui. 2018&. Geochemical characteristics and tectonic significance of the Xitian Indosinian granites in eastern Hunan Province, South China. *Acta Petrologica Sinica*, 34(7):2065~2086.
- He Ying. 1990&. Significant geological features of the deuteric infiltrating metallization in Xihuashan. *Journal of Hebei College of Geology*, 13(3):285~292.
- He Ying. 1991&. Some features of composite granite bodies and their relationship to the metallization in southern China. *Mineral Resources and Geology*, 5(1):17~23.

- Hu Guang, Hu Wenxuan, Cao Jian, Yao Suping, Wang Xueyin, Liu Youxiang. 2011&. The zircon U-Pb dating of the Lower Cretaceous Bantou Formation in western Fujian and stratigraphic correlation. *Advances in Earth Science*, 26(9): 933~943.
- Hua Renmin. 2005&. Differences between rock-forming and related ore-forming times for the Mesozoic granitoids of crust remelting types in the Nanling range, south China, and its geological significance. *Geological Review*, 51(6): 633~639.
- Huang Dianhao, Wu Chengyu, Han Jiuzhu, Zhang Qiaoda. 1989&. Characteristics of isotopic systematics of U-Pb and Rb-Sr and their geological implications for Zudong and Guanxi granitic intrusives, Longnan County, Jiangxi Province. *Acta Petrologica Sinica*, 5(1): 37~48.
- Huang Kongwen, Guo Min, Lin Jiechun, Hu Qifeng, Wang Qiuchun, Tang Ke, Zhou Han, Huang Yixu. 2019&. Geochronology, geochemistry and genetic significance of Early Cretaceous fine granite in Baisha rock body, northern Guangdong. *Geology and Mineral Resources of South China*, 35(2): 145~157.
- Huang Yonggao, Feng Zuohai, Fu Wei, Kang Zhiqiang, Sun Ruliang, Yu Yong. 2014&. A preliminary study on fluid inclusions of Huashan uranium ore deposit, northeastern Guangxi, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 34(1): 117~124.
- Hulsbosch N, Hertogen J, Dewaele S, André L, Muchez P. 2014. Alkali metal and rare earth element evolution of rock-forming minerals from the Gatumba area pegmatites (Rwanda): Quantitative assessment of crystal—melt fractionation in the regional zonation of pegmatite groups. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 132: 349~374.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Zhao Junhong, Xie Guiqing. 2003&. Lithogeochemical characteristics of the Mesozoic granitic intrusion from the Wangxiang area in northeastern Hunan Province and its tectonic setting. *Acta Geological Sinica*, 77(1): 98~103.
- Jiang Guohao, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, Zhao Junhong, Tang Qunli. 2004&. K-Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(3): 253~256.
- Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, Ling Hongfei, Ni Pei. 2006&. New type of tin mineralization related to granite in south China: Evidence from mineral chemistry, element and isotope geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 2509~2516.
- Kontak D J, Chatterjee A K. 1992. The East Kemptville tin deposit, Yarmouth County, Nova Scotia: A Pb-isotope study of the leucogranite and mineralized greisens—Evidence for a 366 Ma metallogenic event. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29: 1180~1196.
- Legros H, Harlaux M, Mercadier J, Romer R L, Poujol M, Camacho A, Marignac C, Cuney M, Wang Ruicheng, Charles N, Lespinasse M Y. 2020. The world-class Nanling metallogenic belt (Jiangxi, China): W and Sn deposition at 160 Ma followed by 30 m. y. of hydrothermal metal redistribution. *Ore Geology Reviews*, 117: 1~21.
- Li Congying, Zhang Rongqing, Ding Xing, Ling Mingxing, Fan Weiming, Sun Weidong. 2016. Dating cassiterite using laser ablation ICP-MS. *Ore Geology Reviews*, 72: 313~322.
- Li Guanglei, Hua Renmin, Wei Xinglin, Wang Xudong, Huang Xiao'e. 2011&. Rb-Sr isochron age of single-grain muscovite in the Xushan W—Cu deposit, central Jiangxi and its geological significance. *Earth Science (Journal of China University Geosciences)*, 36(2): 282~287.
- Li Haili, Xiao Huiliang, Fan Feipeng, Chen Lezhu, Liu Jianxiong, Chen Xutao. 2016&. Molybdenite Re-Os isotopic age of Fei'eshan tungsten and molybdenum polymetallic deposit in Chao'an, Guangdong. *Acta Geologica Sinica*, 90(2): 231~239.
- Li Huaqin, Liu Jiaqi, Wei Lin. 1993&. Research and Its Implication of Fluid Inclusions Chronology of Hypothermal Deposit. Beijing: Geological Publishing House: 1~75.
- Li Huaqin, Lu Yuanfa, Wang Denghong, Chen Yuchuan, Yang Hongmei, Guo Jing, Xie Caifu, Mei Yuping, Ma Liyan. 2006&. Dating of the rock-forming and ore-forming ages and their geological significances in the Furong orefield, Qitian Mountain, Hunan. *Geological Review*, 52(1): 113~121.
- Li Jianhui, Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Su Jinbao, Li Yong, Cui Jianjun, Shi Wei. 2013. The Hengshan low-angle normal fault zone: Structural and geochronological constraints on the Late Mesozoic crustal extension in South China. *Tectonophysics*, 606: 97~115.
- Li Xianhua, Hu Ruizhong, Rao Bin. 1997&. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14~31.
- Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang. 2007. On the genetic classification and tectonic implications of the Early Yanshanian granitoids in the Nanling Range, south China. *Chinese Science Bulletin*, 52(14): 1873~1885.
- Li Xiaofeng, Yasushi W, Hua Renmin, Mao Jingwen. 2008&. Mesozoic Cu—Mo—W—Sn mineralization and ridge/triple subduction in south China. *Acta Geological Sinica*, 82(5): 625~637.
- Li Xiaofeng, Feng Zuohai, Xiao Rong, Song Ci'an, Yang Feng, Wang Cuiyun, Kang Zhiqiang, Mao Wei. 2012&. Spatial and temporal distributions and the geological setting of the W—Sn—Mo—Ta deposits at the northeast Guangxi, South China. *Acta Geologica Sinica*, 86(11): 1713~1725.
- Li Zhonglan, Mei Yongwen. 1999&. The distribution regularity of tungsten deposits and the prognosis of concealed deposits in South Jiangxi. *Jiangxi Geology*, 13(4): 276~282.
- Liang Jun, Li Jian, Sheng Dan, Chen Xiaolan, Song Weiguo. 2014#. Metallogenic regularity and prediction of granite-related W—Sn deposits in southern Zhuguangshan, Hunan Province. *Western Resources*, 7(5): 131~135.
- Liao Jing, Guo Lirong, Qian Longbing. 2018&. Diagenesis and metallogenic epoch and genesis of the Jinkeng copper, tin, lead and zinc deposit, Guangdong. *Resources Environment & Engineering*, 32(2): 212~215.
- Liu Guoqing, Wu Shicong, Du Andao, Fu Jianming, Yang Xiaojun, Tang Zhihua, Wei Junqi. 2008&. Metallogenic ages of the Xitian tungsten—tin deposit, eastern Hunan Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 63~71.
- Liu Jiaqi. 1989#. Xihuashan granite and its mineralization. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 19: 84~104.
- Liu Jiaqi, Wang Xiongwu, Zeng Yishan, Wang Xiaodi. 2002&. Xihuashan granite and evolution of ore-forming fluid of tungsten—tin—beryllium ore field. *Geology and Mineral Resources of South China*, 18(3): 91~96.
- Liu Peng, Mao Jingwen, Cheng Yanbo, Yao Wei, Wang Xiaoyu. 2017. An Early Cretaceous W—Sn deposit and its implications in southeast coastal metallogenic belt: Constraints from U-Pb, Re-Os, Ar-Ar geochronology at the Fei'eshan W—Sn deposit, SE China. *Ore Geology Reviews*, 81: 112~122.
- Liu Peng, Mao Jingwen, Pirajno F, Jia Lihui, Zhang Feng, Li Yang. 2018. Ore genesis and geodynamic setting of the Lianhuashan

- porphyry tungsten deposit, eastern Guangdong Province, SE China; Constraints from muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and zircon U-Pb dating and Hf isotopes. *Mineralium Deposita*; <https://doi.org/10.1007/s00126-017-0779-8>.
- Liu Xiyuan, Zhong Dahong, Yuan Jianya, Xie Qinghui, Li Yichun. 2004&. Tectonic characteristics in the Pingxiang area in the junction belt between the Yangtze Plate and South China Plate. *Journal of Geomechanics*, 10(4):372~380.
- Liu Yimao, Xu Jifeng, Dai Tongmu, Li Xianhua, Deng Xiguang, Wang Qiang. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic ages of Qitianling granite and their geologic implications. *Science in China(Series D)*, 46(Supp.):50~59.
- Liu Yin. 2013&. Chronology and Geochemistry of the Ziyunshan Pluton in Yuhuashan Area (Jiangxi Province). Tutor: Pan Jiayong. Nanchang: Ph. D. thesis of East China Institute of Technology:1~65.
- London D, Morgan C B, Hervig R L. 1989. Vapour-undersaturated experiments with Macusani glass+ H_2O at 200 MPa, and the internal differentiation of granitic pegmatites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 102:1~17.
- Lou Fasheng, Shen Weizhou, Wang Dezi, Shu Liangshu, Wu Fujiang, Zhang Fangrong, Yu Jinhai. 2005&. Zircon U-Pb isotopic chronology of the Wugongshan dome compound granite in Jiangxi Province. *Acta Geologica Sinica*, 79(5):636~644.
- Lu Lin, Liang Ting, Zhao Zheng, Liu Shanbao. 2018. A unique association of scheelite and magnetite in the Tiemuli W—Fe skarn deposit; Implications for Early Cretaceous metallogenesis in the Nanling Region, south China. *Ore Geology Reviews*, 94:136~154.
- Lu Youyue, Fu Jianming, Zhang Guopei, Zheng Zonghao, Li Nan, Cheng Shunbo, Qin Zengwei, Ma Liyan. 2019&. Geological characteristics and metallogenic epoch of quartz vein type tungsten (tin) deposit in Tangchun, eastern Guangdong Province. *Earth Science*, 44(2):388~398.
- Luo Hanmin, Xiao Guangming, Tang Keng. 2006&. Characteristics of tungsten polymetal minerogenic belt and ore prospecting orientation in Chengkou—Jiulian area, northern Guangdong Province. *Resources Survey and Environment*, 27(2):127~135.
- Ma Xinghua, Qiao Shilei, Zhou Zhenhua. 2016#. Research status of granitic complexes and their tungsten—tin mineralization in the Nanling Range. *Mineral Deposits*, 35(S1):89~90.
- Man Fasheng, Bai Yuzhen, Ni Shoubin, Li Tong. 1983&. Preliminary isotope studies of the Lianhuashan tungsten ore deposit. *Mineral Deposits*, 4(4):35~42.
- Mao Jianren, Tao Kuiyuan, Yang Zhuliang, Zhu Yunhe, Xue Huaimin. 1997&. Geodynamic background of the Mesozoic intracontinental magmatism in southeast China. *Volcanology and Mineral Resources*, 18(2):95~104.
- Mao Jianren, Li Zilong, Zhao Xilin, Zhou Jing, Ye Haimin, Zeng Qingtao. 2010. Geochemical characteristics, cooling history and mineralization significance of Zhangtiantang pluton in South Jiangxi Province, China. *Chinese Journal Geochemistry*, 29:53~64.
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Pei Rongfu. 1995&. Nd—Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock, Hunan Province. *Mineral Deposits*, 14(3):235~242.
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin. 1998#. Geology and Geochemistry of the Shizhuyuan W—Sn—Mo—Bi Polymetallic Deposit, Hunan, China. Beijing: Geological Publishing House: 1~215.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. 2004&. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extensions from South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1):45~55.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Chen Yuchuan. 2007&. Large-scale tungsten—tin mineralization in the Nanling region, South China; Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10):2329~2338.
- Martínez F J, Reche J, Iriondo A. 2008. U-Pb SHRIMP-RG zircon ages of Variscan igneous rocks from the Guillerías massif (NE Iberia pre-Mesozoic basement). Geological implications. *Comptes Rendus Geoscience*, 340:223~232.
- Maruejol P, Cuney M, Turpin L. 1990. Magmatic and hydrothermal REE fractionation in the Xihuashan granites (SE China). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104:668~680.
- Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, Terabayashi M C. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *The Island Arc*, 6:121~142.
- Mei Yongwen. 1985&. Characteristics of granitic bodies associated with tungsten mineralization and criteria for their recognition. *Geological Review*, 31(6):531~538.
- Mei Yongwen. 1994&. Multiple diagenesis—mineralization of vein-type tungsten deposits. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 42(2):148~154.
- Mitchell A H G, Garson M S. 1981. *Mineral Deposits and Global Tectonic Setting*. London: Academic Press Inc.: 1~405.
- Morgan D J, Blake S. 2006. Magmatic residence times of zoned phenocrysts: Introduction and application of the binary element diffusion modelling (BEDM) technique. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151:58~70.
- Mu Zhiguo, Huang Fusheng, Lu Dekui. 1988&. Potassium-argon ages of some tungsten-bearing granites in south China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 7(2):109~118.
- Müller A, Breiter K, Seltmann R, Pecskey Z. 2005. Quartz and feldspar zoning in the eastern Erzgebirge volcano—plutonic complex (Germany, Czech Republic): Evidence of multiple magma mixing. *Lithos*, 80:201~227.
- Ni Shijun. 1987&. Geochemical characteristics of REE and source of ore-forming material for 337 uranium deposit. *Journal of Chengdu College of Geology*, 14(4):18~28.
- Ni Yongjin, Shan Yehua, Wu Shichong, Nie Guanrun, Zhang Xiaoqiong, Zhu Haofeng, Liang Xinquan. 2015&. Determination of slip sense of the Laoshan 'ao fault in the Xiangdong tungsten deposit (southeast Hunan) and its implications for mineral exploration. *Geotectonica et Metallogenia*, 39(3):436~445.
- Osmundsen P T, Andersen T B. 1994. Caledonian Compressional and late-orogenic extensional deformation in the Stavenest area, Sunnfjord, Western Norway. *Journal of Structural Geology*, 16:1385~1401.
- Peng Zhongyong, Chen Weifeng, Mao Yufeng, Fang Qichun, Tang Xiangsheng, Ling Hongfei. 2018&. Multiple episodes of the Yanshanian magmatism in Xiangshan uranium ore-field, Jiangxi. *Geological Review*, 64(6):1413~1437.
- Qi Huawen, Hu Ruizhong, Wang Xiaofei, Qu Wenjun, Bi Xianwu, Peng Jiantang. 2012. Molybdenite Re-Os and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of quartz vein-type W—Sn polymetallic deposits in Northern Guangdong, south China. *Mineralium Deposita*, 47:607~622.
- Qiu Jiansheng, Jiang Shaoyong, Hu Jian, McInnes B I A, Ling Hongfei.

- 2006&. Isotopic dating of the Mikenshan tin orefield in Huichang county, Jiangxi province, and its implications to metallogenesis. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2444~2450.
- Qiu Zengwang, Wang He, Yan Qinghe, Li Shasha, Wang Liming, Bu An, Wei Xiaopeng, Li Pei, Mu Shenglu. 2017&. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Lu—Hf isotopes of granite porphyry in Taoxihu tin polymetallic deposit, Guangdong Province, SE China, and its geological significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(3): 516~532.
- Qiu Zengwang, Yan Qinghe, Li Shasha, Wang He, Tong Laixi, Zhang Rongqing, Wei Xiaoping, Li Pei, Wang Liming, Bu An, Yan Lunming. 2017. Highly fractionated Early Cretaceous I-type granites and related Sn polymetallic mineralization in the Jinkeng deposit, eastern Guangdong, SE China: Constraints from geochronology, geochemistry, and Hf isotopes. *Ore Geology Reviews*, 88: 718~738.
- Shen Jifu, Chen Zhenghui, Liu Lijun, Ying Lijuan, Huang Fan, Wang Denghong, Wang Jiahuan, Zeng Le. 2015&. Outline of metallogeny of tungsten deposits in China. *Acta Geologica Sinica*, 89(6): 1038~1050.
- Shen Weizhou, Xu Shijin, Wang Yingxi, Yang Jiedong. 1994#. Nd and Sr isotopic studies of the Xihuashan granite. *Chinese Science Bulletin*, 39(2): 154~156.
- Su Huimin, Xie Guiqing, Sun Jia, Zhang Chengshuai, Cheng Yanbo. 2010&. Zircon U-Pb dating for the granite porphyries in Hongshan porphyry copper deposit and Tongkenzhang porphyry molybdenum deposits in east Jiangxi Province and its significance. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 819~829.
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publications, Oxford Press: 1~312.
- The Granitoid Research Group of the Nanling Project (Ministry of Geology and Mineral Resource). 1989&. *Geology of Granitoids of Nanling Region and Their Petrogenesis and Mineralization*. Beijing: Geological Publishing House: 1~471.
- Veksler I V. 2004. Liquid immiscibility and its role at the magmatic—hydrothermal transition: A summary of experimental studies. *Chemical Geology*, 210: 7~31.
- Wan Tianfeng, Wang Yamei, Liu Junlai. 2008&. Detachments and magmatic source depth in lithosphere of Eastern China during Yanshanian and Sichuanian stages. *Earth Science Frontiers*, 15(3): 1~35.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Li Huaqing, Chen Zhenghong, Yu Jinjie, Lu Yuanfa, Li Jiyu. 2003&. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting. *Geological Bulletin of China*, 22(1): 50~56.
- Wang Denghong, Li Huaqin, Qin Yan, Mei Yuping, Chen Zhenghui, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Cai Hong, Gong Shuqing, He Xiaoping. 2009&. Rock-forming and ore-forming ages of the Yaogangxian tungsten deposit of Hunan Province. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 201~208.
- Wang Denghong, Chen Zhenghui, Chen Yuchuan, Tang Juxing, Li Jiankang, Ying Lijuan, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Li Lixing, Qin Yan, Li Huaqin, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Chen Wen, Zhang Yan. 2010&. New data of the rock-forming and ore-forming chronology for China's important mineral resources areas. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1037~1040.
- Wang Denghong, Li Chao, Chen Zhenghui, Wang Chenghui, Huang Fan, Qu Wenjun. 2012&. New application of molybdenite in the study on ore deposits: Rare earth elements geochemistry. *Journal of Jilin University (Earth Science)*, 42(6): 1647~1655.
- Wang Dezi, Chen Shaohai, Liu Changshi, Shen Weizhou, Chu Xuejun. 1995&. Characteristics and genesis of primary aluminous minerals in the Tashan tin-bearing granoporphyry in eastern Guangdong Province. *Acta Mineral Sinica*, 15(3): 249~253.
- Wang Dongbo, Dong Guoyi. 1988&. The study on geochemistry and metallogeny of Houpo'ao tin deposit in Chao'an county, Guangdong Province. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 3(1): 76~84.
- Wang Hongrong, Shao Weijiang, Zhou Deng, Zhao Zhijun. 2020&. Study on metallogenic model of Dabu uranium deposit in Taoshan uranium ore field of Jiangxi. *World Nuclear Geoscience*, 37(4): 263~270.
- Wang Liling, Zhang Shuming, Xu Xun, Zhang Xin, Ruan Xiaoyu, Lan Dechu, Wu Zhichun, Qi Jiawei. 2020&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and genetic types of uranium-bearing granite porphyry in northern Xiangshan orefield, Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 39(1): 62~79.
- Wang Liankui, Zhao Bin, Zhu Weifang. 1980. Characteristics and melting experiments of granites in southern China. *Mining Geology*, 8: 29~38.
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Jian Ping, Xiong Xiaolin, Bao Zhiwei, Dai Tongmu, Xu Jifeng, Ma Jinlong. 2005&. Geochronology of Cretaceous A-type granitoids or alkaline intrusive rocks in the hinterland, South China: Constraints for late-Mesozoic tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 795~808.
- Wang Xiang, Griffin W L, Wang Zhicheng, Zhou Xinmin, Wang Chuansheng. 2003. Hf isotope composition of zircons and implication for the petrogenesis of Yajiangqiao granite, Hunan Province, China. *Chinese Science Bulletin*, 48(10): 995~998.
- Wang Xiang, Chen Jie, Ren Minghua. 2016. Hydrothermal zircon geochronology: Age constraint on Nanling Range tungsten mineralization (Southeast China). *Ore Geology Reviews*, 74: 63~75.
- Wang Xiang, Ren Minghua, Chen Jie. 2017. The muscovite granites: Parental rocks to the Nanling Range tungsten mineralization in South China. *Ore Geology Reviews*, 88: 702~717.
- Wang Xiang, Ren Minghua. 2018. Constraints of hydrothermal and magmatic zircon on the origin of the Yaogangxian tungsten deposit, southern China. *Ore Geology Reviews*, 101: 453~467.
- Wang Xiang, Xian Haiyang, Teng Hui Henry, Ren Minghua. 2021. Ultra-long magma residence time leading to a new model for the tungsten mineralization in the Nanling Range (South China). *Ore Geology Reviews*, 135: 104217.
- Wang Xuecheng. 1986&. Geological and Geochemical Characteristics of Guidong Pluton and Metallogeny of the No. 229 Deposit. Tutor: Zhang Zuhuan. Nanjing: Master's thesis of Geological Department, Nanjing University.
- Wang Yang, Deng Jinfu. 2004&. Petrochemical features and tectonic setting of late Yanshanian strongly peraluminous granites in the northeastern part of Hunan Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1): 60~68.
- Wei Daofang, Bao Zhengyu, Fu Jianming, Cai Minghai. 2007. Diagenetic and mineralization age of the Hehuaping tin—polymetallic orefield, Hunan Province. *Acta Geologica Sinica*, 81: 244~252.
- Wood S A, Samson I M. 2000. The hydrothermal geochemistry of tungsten in granitoid environments (I): Relative solubilities of ferberite and scheelite as a function of T , P , pH, and mNaCl.

- Economic Geology, 95: 143~182.
- Wu Guozhong, Wang Denghong, Hu Yaoguo, Wang Chenghui. 2014&. Metallogenic epoch of the two types of tungsten ore deposits: A case study of the Miantuwo and Heshangtian deposits in northern Guangdong. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 325~333.
- Wu Jianhua, Liu Feiyu, Liu Shuai. 2011&. SHRIMP U-Pb zircon age of late Mesozoic trachyte in Xiajiang—Guangfeng and Sannan—Xunwu volcanic belts. *Geological Review*, 57(1): 125~131.
- Wu Jianhua, Xu Xunsheng, Liu Shuai. 2012&. SHRIMP zircon U-Pb dating of the early Late Cretaceous felsic volcanic rock in southern Jiangxi—northern Guangdong area and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 31(8): 1296~1305.
- Wu Jianhua, Lao Yujun, Xie Guofa, Zhang Jingyan, Wu Rengui, Nie Fengjun. 2017&. Stratigraphy and geochronology of the volcanic rocks in the Xiangshan uranium orefield, Jiangxi Province and its geological implications. *Geology in China*, 44(5): 974~992.
- Wu Junqi, Min Maozhong, Zhai Jianping, Luo Xingzhang, Lai Yitang, Wei Yuanbang. 1998&. Alkali metasomatic alteration of the granite in middle Chuguang Mountain, south China. *Acta Petrologica Sinica*, 14(1): 90~98.
- Wu Lieqin, Tan Zhengzhong, Liu Ruzhou, Huang Guolong. 2003&. Discussion on uranium ore-formation age in Xiahuang ore-field, northern Guangdong. *Uranium Geology*, 19(1): 28~33.
- Xia Hongyuan, Liang Shuyi. 1987&. The evolution of Huangsha—Tieshanlong ore-bearing granite and its REE geochemistry. *Geochimica*, 16(4): 330~340.
- Xia Weihua. 1985&. Some questions worth debating in metallogenic study. *Geological Science and Technology Information*, 4(1): 150~154.
- Xiao Guangming, Di Wen. 2011&. Metallogenic regularity of tungsten deposits in northern Guangdong Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 27(2): 132~140.
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan. 2002&. The Ways of Investigation on Granitoids. Beijing: Geological Publishing House: 1~294.
- Xiao Rong, Li Xiaofeng, Feng Zuohai. 2011&. Metallogenic regularity of tungsten—tin polymetallic deposit in Huashan—Guposhan area (Guangxi Province). *Acta Mineralogica Sinica*, 41(S): 653~654.
- Xiong Yiqu, Shao Yongjun, Cheng Yanbo, Jiang Shaoyong. 2020. Discrete Jurassic and Cretaceous mineralization events at the Xiangdong W (—Sn) deposit, Nanling Range, South China. *Economic Geology*, 115: 385~413.
- Xu Jianxiang, Zeng Zhailin, Li Xueqin, Liu Junsheng, Chen Zhenghui, Liu Shanbao, Guo Chunli, Wang Chenghui. 2007&. Geological characteristics and mineralization age of the Tongkengzhang molybdenum deposit in Xunwu County, south Jiangxi Province, China. *Acta Geological Sinica*, 81(7): 924~928.
- Xu Qidong. 1991&. Identification of the intrusive phases of the composite alkali-feldspar granite in Xianghualing, Hunan. *Hunan Geology*, 10(4): 289~294.
- Xu Wenxiong, Tan Zhongyin, Luo Chunwu, Xu Lili, Huang Guolong. 2014&. Geochemical characteristic and ore-forming geological significance of fine crystalline granite in Mianhuakeng uranium deposit, northern Guangdong. *Uranium Geology*, 30(6): 345~355.
- Xu Yiming, Zhang Yijun, Lei Zeheng. 2011&. Total tungsten resource reserve prediction of middle Nanling range. *Geology and Mineral Resources of South China*, 27(1): 39~45.
- Yan Qinghe, Wang He, Qiu Zengwang, Wang Min, Mu Shenglu, Wang Liming, Bu An, Wang Saimeng, Li Shasha, Wei Xiaopeng, Li Pei. 2018&. Zircon and cassiterite U-Pb ages and Lu—Hf isotopic compositions of Tashan tin-bearing porphyry in Guangdong Province, SE China, and its geological significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 42(4): 718~731.
- Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, Tang Weixin, Mao Subin. 2009&. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area. *Geology in China*, 36(3): 528~543.
- Yang Minggui, Wang Guanghui. 2020&. Core—mantle-type extensional mode and dynamic mechanism of the magmatic metallogenic explosion of the Yanshanian in the Cathaysian metallogenic province. *Journal of Geomechanics*, 26(1): 1~12.
- Yang Shiyi, Liu Gouqun, Zhang Xiulan, Chen Changjiang. 1986&. Research on Types of Porphyry and Their Mineralization in Baoping Area (Southern Hunan). Beijing: Geological Publishing House: 157~167.
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, Fan Honghai. 2012&. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr—Nd—Hf isotopic compositions of the rhyolite porphyry from the Zhoujiaoshan deposit in Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, SE China. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3915~3928.
- Yang Shuiyuan, Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, Ling Hongfei, Chen Peirong. 2013&. Timing and geological implications of volcanic rocks from the Ruyiting section, Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province, SE China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4362~4372.
- Yang Yueheng, Yang Ming, Wang Hao, Yang Jinhui, Wu Fuyuan. 2021. In-situ U-Pb dating of wolframite and its application. *Science in China (Earth Sciences)*, 51(1): 171~174.
- Ye Jiye, Deng Guozheng, Pi Junming, Wang Zhengyou. 2000&. An analysis on the characteristics of deep deposit of Pangushan tungsten mine and the vistas of prospecting. *China Tungsten Industry*, 15(4): 17~19.
- Yenes M, Alvarez F, Gutierrez-Alonso G. 1999. Granite emplacement in orogenic compressional conditions: The La Alberca-Bejar granitic area (Spanish Central System, Variscan Iberian Belt). *Journal of Structure Geology*, 21: 1419~1440.
- Yu Lianggui. 2007&. Yashan granite-type evolution and tantalum—lithium mineralization. *Jiangxi Nonferrous Metals*, 21(2): 7~10.
- Zeng Zhailin, Zhang Yongzhong, Zhu Xiangpei, Chen Zhenghui, Wang Chenghui, Qu Wenjun. 2009&. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Maoping tungsten—tin deposit in Chongyi County of southern Jiangxi Province and its geological significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 209~214.
- Zhai Yusheng, Deng Jun, Peng Renmin. 1999&. Problems pertaining to regional metallogeny of China. *Mineral Deposits*, 18(4): 323~332.
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Cai Keqing. 2011&. Mineral Deposits (3rd Edition). Beijing: Geological Publishing House: 1~413.
- Zhang Jiaping, Wu Mushen, Chen Zhenghui, Liu Shaobao, Li Lixing, Qiu Liangming, Wu Bin, Huang Ajie, Zhu Pingjun. 2009&. Geochronology study on the Jinzhuping molybdenum—polymetallic deposit from Shangrao of Jiangxi Province. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 228~232.
- Zhang Jiaping, Wang Denghong, Liu Shanbao, Chen Zhenghui, Shi Guanghai, Wang Jing, Wang Yongqing, Wei Yingwen. 2012&. Geochronology and isotopic compositions of the Huangbi lead—zinc deposits, Jiangxi, China. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3325~3333.
- Zhang Jiayuan. 1983&. Geochemical features of granites at

Xingluokeng. *Geology of Fujian*,2(3):33~45.

Zhang Jintong,Xia Weihua. 1988&. Topaz—alkali-feldspar granite and its ore deposit. *Geological Science and Technology Information*,7(4):77~84.

Zhang Min, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Chen Weifeng, Li Huimin, Zhang Mengqun. 2003&. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dadongshan granite pluton in mid Nanling Range. *Geochimica*,32(6):529~539.

Zhang Qi. 2012&. Could granitic magmas experience fractionation and evolution? *Acta Petrologica et Mineralogica*,31(2):252~260.

Zhang Qi. 2013&. Discussion on “small intrusions associate with large deposits” and “large intrusions are not mineralization”. *Gansu Geology*),22(4):1~7.

Zhang Wanliang, Zou Maoqing, Shao Fei, Nie Bin. 2009&. Geological characteristics of dike-structural belt in Taoshan orefield and its relationship to uranium deposits. *World Nuclear Geoscience*, 26(1):38~42.

Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, Chen Peirong, Li Huimin. 2006. New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi. *Acta Geological Sinica*,80(7):956~962.

Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, Li Huimin, Qu Wenjun, Ji Jianqing. 2009&. New dating of the Piaotang granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi. *Acta Geological Sinica*, 83(5):659~670.

Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, Dong Chenyang, Chen Weifeng, Chen Peirong, Ling Hongfei, Zhang Jian, Wang Kaixing. 2011. Uranium-bearing and barren granites from the Taoshan Complex, Jiangxi Province, South China: Geochemical and petrogenetic discrimination and exploration significance. *Journal of Geochemical Exploration*, 110:126~135.

Zhao Xilin, Yu Minggang, Liu Kai, Mao Jianren, Ye Haimin, Xing Guangfu. 2012&. The magmatic and genetic evolution of Early Cretaceous granitoids in eastern Guangdong Province. *Geological Review*,58(5):965~977.

Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou, Xiong Xiaolin. 2001. Crust—mantle interaction and its contribution to the Shizhuyuan superlarge tungsten polymetallic mineralization. *Science in China(Series D)*, 44(3),265~276.

Zheng Jiahao, Guo Chunli. 2012&. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotopes of the Wangxianling granitic intrusion in South Hunan Province and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*,28(1):75~90.

Zhou Liang. 1999&. Tin-bearing granite in the west slope of Wuyi Mount. *Jiangxi Geology*,13(1):36~39.

Zhou Qiangqiang. 2012&. Geological characteristics of the Yuhuashan super unit in the Yuhuashan basin (Jiangxi Province) and U-Pb dating. Tutor: Pan Jiayong. Nanchang: Master’ s thesis of East China Institute of Technology:1~60.

Zhou Yuzhen, Gao Chengshu, Hong Yinglong, Han Zhixin, Wen Longhui. 2010&. Diagenesis—mineralization process and mineralization models of Xihuashan granite. *China Tungsten Industry*,25(1):12~16.

Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, Zhang Hui, Yang Ce. 2006&. Zircon U-Pb age framework of Huashan—Guposhan intrusive belt, western part of Nanling Range, and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*,22(9):2270~2278.

Zhu Jinchu, Wang Rucheng, Lu Jianjun, Zhang Hui, Zhang Wenlan, Xie Lei, Zhang Rongqing. 2011&. Fractionation, evolution, petrogenesis and mineralization of Laiziling granite pluton, southern Hunan Province. *Geological Journal of China Universities*, 17(3):381~392.

Zhu Peiyun, Yan Lunming, Bu An, Xu Diankui, Qian Longbing, Guo Lirong. 2018&. Research on the mineralization geological body in Jinkeng copper—tin—lead—zinc deposit, Guangdong. *Mineral Exploration*,9(1):33~44.

Zhu Xinyou, Wang Jinbin, Wang Yanli, Cheng Xiyi, He Peng, Fu Qibin, Li Shunting. 2012&. Characteristics of alkali feldspar granite in tungsten (tin) deposits of Nanling region. *Geology in China*,39(2):359~381.

Zhu Yanling, Li Chongyou, Lin Yunhuai. 1981#. *Tungsten Depoist Geology of Southern Jiangxi Province*. Nanchang: Jiangxi People’ s Publishing House:406~420.

On the ore-forming period of magmatic—hydrothermal deposits
——A case study of the Yanshanian tungsten deposits in the Nanling Range

WANG Xiang¹⁾, LOU Fasheng²⁾

1) School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210023;
2) Institute of Geological Survey and Research of Jiangxi Province, Nanchang, 330030

Abstract: Magmatic—hydrothermal tungsten deposits in China are mainly hosted within or around the Yanshanian granitic plutons in the Nanling Range. Actually the ore-forming ages of these tungsten deposits are very difficult to be precisely determined, resulting in two periods of tungsten mineralization in statistics: 150~160 Ma (primary ore-forming period) and 130~140 Ma (second ore-forming period), this puzzles understanding of tungsten mineralization and its relationship with granite in the Nanling Range. This paper will analyze the recent documents in tectonic, petrographic, geochemical and geochronological domains, and discuss on parental rocks, deep-seated magma chamber and ore-forming mechanism to provide some positive estimations relative to metallogenic model of the tungsten mineralization in the Nanling Range: ① The early Yanshanian biotite

monzogranites occurred as batholith or stock could not be parental rocks to tungsten deposits in the Nanling Range, thus the ore-forming ages of 150~160 Ma are open to doubt. ② The late Yanshanian two-mica/muscovite alkali-feldspar granites occurred as stock, boss and vein are potential providers of tungsten source, but not parental rocks to tungsten deposits in the Nanling Range due to their too small volume. ③ When combining main intrusion (biotite monzogranite), subsequent intrusion (two-mica/muscovite alkali-feldspar granites) and tungsten deposit as a whole, a new metallogenic model could be established; the residual magma enriched in ore-forming materials (tungsten, fluxing components, and aqueous fluid) could occur in a long-lived magma chamber, which intruded rapidly in the extensional system and splitted into two portions (i. e. fluid—melt immiscibility): an alkaline and silicious fluid and a strongly felsic melt. The fluid portion ascended quicker in the top of extensional system and formed as the wolframite-bearing quartz vein, whereas the melt portion arrived later and filled the bottom of extensional system and solidified as the two-mica/muscovite alkali-feldspar granites. ④ Therefore, the two-mica/muscovite alkali-feldspar granites and tungsten deposits with the same ages (i. e. , 130~140 Ma) are a couple of congenetic subaspects, their synchronous occurrence showing a complete ore-forming process with “source—transport—precipitation” of ore-forming materials. The understanding in this paper not only could explain the magmatic—hydrothermal deposit-related geological phenomena (e. g. , “small pluton and large deposit”), but also renews the theory of magmatic—hydrothermal mineralization, more importantly it provides a clear guidance of the exploration of this type of deposits in future.

Keywords: Nanling Range; tungsten deposit; ore-forming period; parental rock to mineralization; magma chamber

Acknowledgements: This study was supported by the National Natural Science Foundation of China: Petrological evidence for metallogenesis of the Zhuxi tungsten deposit (No. 41872047)

First author(Corresponding author): WANG Xiang, male, born in 1960, Ph. D. , professor, doctoral supervisor, mainly engaged in the study of granitic rocks and their mineralization; Email: xwang@nju. edu. cn

Manuscript received on: 2021-10-30; Accepted on: 2021-12-27; Network published on: 2022-01-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 20212. 01. 055 **Edited by:** ZHANG Yuxu

中国地质学会获得 2021 年度中国科学技术协会全国学会
期刊出版工作优秀单位称号

经自主申报、专家评审,中国地质学会获得中国科学技术协会“2021 年全国学会期刊出版工作优秀单位”称号。

中国科学技术协会全国性学会总计 210 家,本次共评审出 2021 年全国学会期刊出版工作优秀单位 30 家,期刊出版管理规范单位 30 家。

中国地质学会将再接再厉,加强期刊出版工作总体谋划和部署推动,完善期刊出版管理机制,增加对主办期刊的人、财、物等资源投入,不断提高期刊学术质量和影响力,进一步发挥好示范带动作用,将学会建设和期刊发展统筹规划,充分发挥学术资源优势和组织网络优势,采取有效措施推动主办期刊可持续高质量发展。

(刘志强 供稿)

