

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.03.010

## 南岭西段沙坪钨矿区花岗岩独居石U-Pb定年及地质意义

周立同<sup>1</sup>,陈剑锋<sup>1,2\*</sup>,杜云<sup>1,3</sup>,陆文<sup>1</sup>,石金江<sup>1</sup>

ZHOU Li-Tong<sup>1</sup>, CHEN Jian-Feng<sup>1,2\*</sup>, DU Yun<sup>1,3</sup>, LU Wen<sup>1</sup>, SHI Jin-Jiang<sup>1</sup>

1. 湖南省地质调查所,湖南长沙410116;2. 湖南省煤炭地质勘查院,湖南长沙410114;  
3. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心,湖北武汉430205  
1. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410116, Hunan, China;  
2. Academy of Coal Geological Survey of Hunan Province, Changsha 410114, Hunan, China;  
3. Research Center for Petrogenesis and Mineralization of Granitoid Rocks, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China

**摘要:**沙坪白钨矿床位于南岭成矿带西段苗儿山岩体西北部,产于晚侵入次细粒二云母二长花岗岩岩株中,整个岩株全岩钨矿化。为精确厘定沙坪白钨矿床的成岩成矿时代,本文利用LA-ICP-MS对花岗岩中的独居石进行U-Pb定年,获得岩株成岩年龄为 $405.0\pm2.1$  Ma,表明沙坪白钨矿床形成于加里东晚期。结合前人研究资料,本文认为苗儿山岩体西北部加里东期的钨多金属成矿作用发生在430~405 Ma间,区域上经历了较高程度分异作用的加里东期花岗岩浆促成了钨的富集,为沙坪钨矿区晚侵入次的细粒二云母二长花岗岩钨的成矿作用提供了物源。苗儿山岩体北部有望在寻找加里东期钨多金属矿床方面取得进一步突破。

**关键词:**沙坪钨矿区;加里东期花岗岩;成岩成矿时代;独居石U-Pb定年;苗儿山岩体西北部

中图分类号:P618.67;P597

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2022)03-0486-10

**Zhou L T, Chen J F, Du Y, Lu W and Shi J J. 2022. Monazite U-Pb Geochronology of Granites in the Shaping Tungsten Deposit, Western Nanling Metallogenic Belt and Its Geological Significance. *South China Geology*, 38(3):486-495.**

**Abstract:** The Shaping Tungsten deposit, situated in the northwestern part of the Miao' ershan granite batholith, Western Nanling Metallogenic Belt, occurs in the late granite intrusion stock of fine two-mica monzogranite. The ore-bearing granite stock is almost wholly W-mineralized. In this study, LA-ICP-MS monazite U-Pb isotopic dating was performed on the fine two-mica monzogranite samples to determine the ages of dia-genesis and mineralization. The monazite U-Pb analysis yielded the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of  $405.0\pm2.1$  Ma, suggesting that the Shaping W deposit was formed in Late Caledonian. Our new dating results, combined with previously published ages, indicate that the W-polymetallic mineralization ages in the northwestern part of the Miao' ershan granite batholith should be between around 430 Ma to 405 Ma. The Caledonian granite in this area has experienced significant magmatic differentiation and contributed to the W enrichment, which could be the metal source for the later fine two-mica monzogranite of the Shaping deposit. The northern of the Miao' ershan batholith has great prospecting potential for Caledonian W-polymetallic deposit.

收稿日期:2022-6-28;修回日期:2022-8-5

基金项目:湖南省自然科学基金(2021JJ30387)、湖南省重点领域研发计划项目(2019SK2261)、中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心开放基金课题(PMGR202006)

第一作者:周立同(1985—),男,工程师,从事地质找矿及矿床研究工作,E-mail:315183156@qq.com

通信作者:陈剑锋(1985—),男,高级工程师,从事地质找矿及矿床研究工作,E-mail:chenjianfeng021041@163.com

**Key words:** the Shaping W deposit; Caledonian granite; diagenesis and mineralization ages; monazite U-Pb dating; northwestern Miao'ershian area

南岭成矿带是我国钨矿床的重要集中地(王登红等,2007;蒋少涌等,2020),这些钨矿床的形成在时间、空间和成因上大都与区内广泛分布的花岗岩类存在密切的关系(Yuan S D et al., 2007; Mao Z H et al., 2013; Mao J W et al., 2013, 2019)。关于南岭花岗岩与钨金属矿床的成矿作用已开展了大量的研究(陈骏等,2008;华仁民等,2010, 2013; Chen J et al., 2013; 袁顺达,2017;蒋少涌等,2020),燕山期的“成矿作用大爆发”更是长期受到诸多学者的高度关注(Yuan S D et al., 2008, 2011, 2019; 袁顺达等,2010, 2012; Liu P et al., 2018a, 2018b)。随着地质找矿及研究工作的深入推进,南岭地区有关前燕山期花岗岩的成矿事件被陆续报道出来,如湘南荷花坪(蔡明海等,2006)、川口(彭能立等,2017; Qin J H et al., 2020; 罗鹏等,2021)、水源山(Zhang R Q

et al., 2015),江西仙鹅塘(刘善宝等,2008)、青山(Zhao Z et al., 2018)等大中型钨矿床被证实形成于印支期,其成矿作用多发生于210~230 Ma之间(谢桂青等,2021);位于南岭西段广西境内的白石顶、武界、社洞等钨钼矿床的成矿作用发生于加里东期(李晓峰等,2006;陈懋弘等,2011, 2012),成矿时代多介于440~420 Ma之间(郭春丽和刘泽坤,2021)。

苗儿山-越城岭复式花岗岩基位于南岭西段,地表出露面积达3000 km<sup>2</sup>以上,新宁-资源超大型断裂将其分为西侧的苗儿山岩体和东侧的越城岭岩体,该复式岩基的主体部分由加里东期和印支期的花岗岩组成(程顺波等,2016;杜云等,2017;图1),其加里东期与印支期花岗岩的侵位年龄分别在430Ma和220Ma左右(伍静等,2012;程顺波等,

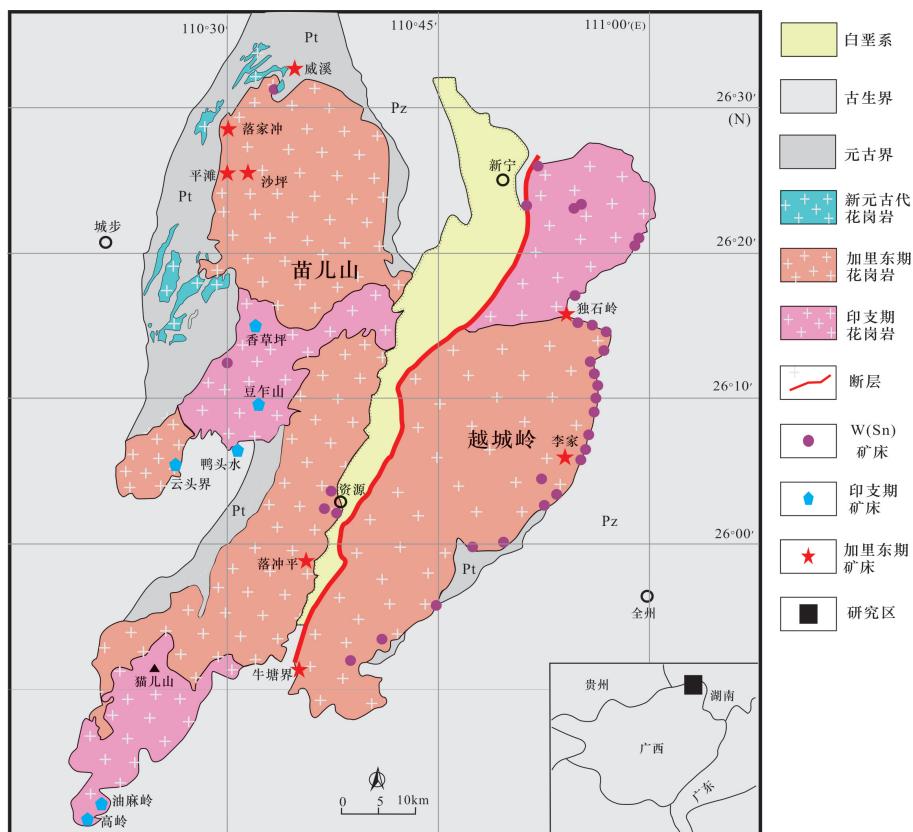


图1 苗儿山-越城岭岩体地质简图(据Chen W D et al., 2016;程顺波等,2016修改)

Fig. 1 Simplified geologic map of Miao'ershian-Yuechengling pluton (Modified after Chen W D et al., 2016; Cheng S B et al., 2016)

2013; Zhao K D et al. 2013; 柏道远等, 2014), 局部零星可见有燕山期花岗岩呈小岩株产出(Li J D et al., 2019)。

沙坪白钨矿位于苗儿山岩体北西部的岩基内, 为湖南省地质调查所近年新发现的一处钨矿床(点), 其特点表现为岩基内晚期侵入次细粒二云母二长花岗岩岩株全岩矿化, 以往关于沙坪白钨矿未有年代学的报导, 因此关于该矿床的成岩成矿时代尚存疑问。

锆石U-Pb定年为目前中酸性岩浆岩类同位素年代学研究中最常用和有效的方法, 然而在与钨锡矿床有关的高分异的淡色花岗岩中, 锆石往往具有非常高的U含量而容易发生蜕晶质化(Li Q L et al., 2013; White and Ireland, 2012), 从而难以获取准确的年龄。而独居石作为另一种常见于高分异酸性岩的副矿物, 通常富含U、Th, 而普遍具有较低的初始普通Pb含量, 且相对不易发生蜕晶化, 是U-Th-Pb同位素定年的理想对象(Harrison et al., 2002; Seydoux-Guillaume et al., 2002)。为避免高分异花岗岩锆石可能存在的“高U效应”影响, 本次选用花岗岩中的独居石进行年代学的研究。在野外地质调查及室内研究的基础上, 本文利用原位LA-ICP-MS独居石U-Th-Pb同位素定年技术对沙坪钨矿含矿花岗岩的成岩时代进行了精确测定, 为苗儿山岩体西北部钨矿床的成因及成矿规律提供了新的年代学证据。

## 1 矿区地质概况

沙坪钨矿床西部与西北部紧邻加里东期的平滩钨矿床和落家冲钨锡矿床(图1)。矿区内地质体(图2)为加里东期早侵入次粗中粒斑状黑云母二长花岗岩( $\eta\gamma S^b$ )以及晚侵入次细粒二云母二长花岗岩( $\eta\gamma S^f$ ), 后者呈岩株状侵入于前者内部(图2、图3a)。矿区东南部及北部各有一条断裂, 分别为F1和F2, 其中F1走向北东, 倾向北西, 倾角56°, F2走向北西, 倾向北东, 倾角50°, 二者均切割粗中粒斑状黑云母二长花岗岩( $\eta\gamma S^b$ ), 且断裂内均未见明显的蚀变与矿化。沙坪钨矿床位于细粒二云母二长花岗岩( $\eta\gamma S^f$ )岩株内, 岩株整体走向北东, 沿走向

长大于400 m, 宽70~100 m, 内部全岩钨矿化, 其中单工程(BT251)控制WO<sub>3</sub>含量达边界品位以上(0.064%~0.020%)的矿体厚度大于20 m。赋矿花岗岩呈灰白色, 似斑状花岗结构, 块状构造(图3b), 其矿物组成为石英(30%~45%)、斜长石(20%~25%)、钾长石(20%~30%), 白云母(3%~4%)和黑云母(2%~3%)。白钨矿呈浸染状分布于石英及斜长石等透明矿物粒间(图3c,d,e), 半自形, 粒径1~2 mm。岩石中见有少量辉钼矿、黄铁矿、钛铁矿, 其它副矿物主要有金红石、锆石、独居石、磷灰石、石榴子石、电气石等(图3f)。岩石局部见有较弱的绢云母化、绿泥石化和绿帘石化等蚀变(图3d,f)。

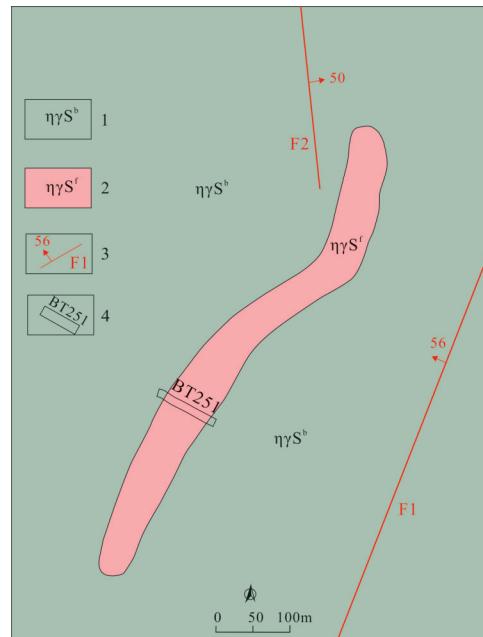


图2 沙坪钨矿区地质简图

Fig. 2 Geological map of the Shaping W deposit

1. 粗中粒斑状黑云母二长花岗岩; 2. 细粒二云母二长花岗岩(钨矿化体); 3. 断层及编号; 4. 剥土及编号

## 2 分析方法

本次采集新鲜的矿化二云母二长花岗岩样品(21-SP-1)进行年龄测定, 独居石单矿物是在无污染的环境下用人工重砂方法分离(包括手工碎样、水洗、磁选), 然后在双目镜下选出晶形较好、具代

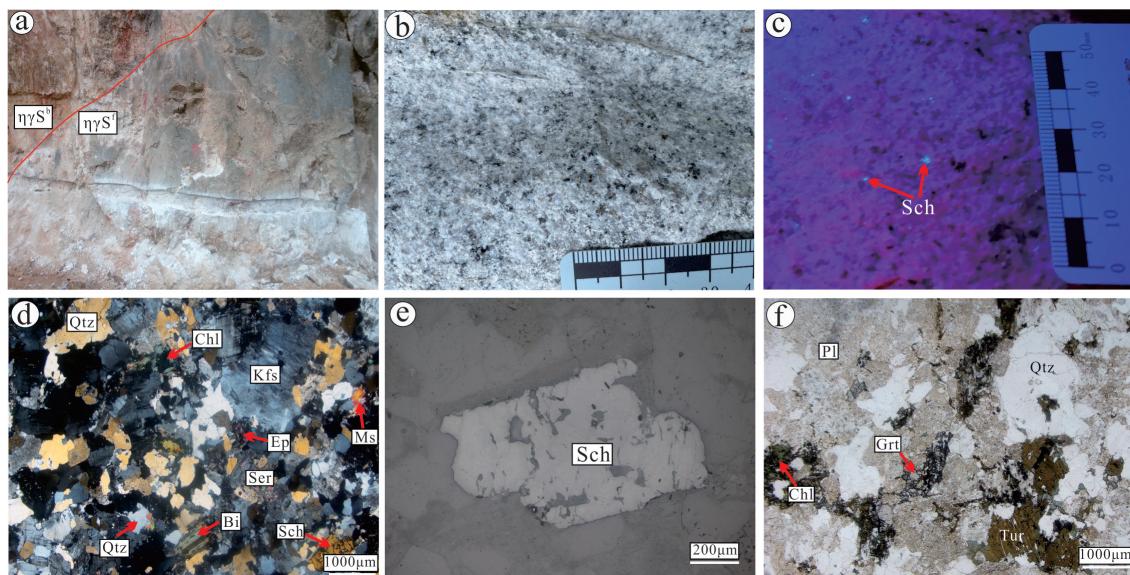


图3 沙坪钨矿区野外地质及岩相学照片

Fig. 3 Photos and photomicrographs of the Shaping W deposit

(a) 细粒二云母二长花岗岩与早侵入次花岗岩接触界线;(b) 细粒二云母二长花岗;(c) 花岗岩中的浸染状白钨矿;(d) 绢云母化、绿泥石化;(e) 白钨矿特征;(f) 花岗岩中的电气石、石榴子石;Sch-白钨矿;Pl-斜长石;Qtz-石英;Grt-石榴子石;Tur-电气石;Chl-绿泥石;Kfs-钾长石;Bi-黑云母;Ms-白云母;Ser-绢云母;Ep-绿帘石

表性的独居石用环氧树脂充分固定、抛光,制成样品靶。在反射光、透射光和阴极发光(CL)条件下对抛光好的样品靶中的独居石进行照相,以此作为原位U-Th-Pb同位素分析时测点选择的依据。独居石的制靶和阴极发光(CL)照相在河北省地质测绘院完成。

独居石LA-ICP-MS U-Th-Pb同位素分析在武汉上谱分析科技有限责任公司完成。激光剥蚀系统为GeoLasPro ArF 193 nm准分子激光器,电感耦合等离子质谱(ICP-MS)为Agilent 7900。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气,二者在进入ICP之前通过一个T型接头混合。激光剥蚀系统配置有信号平滑装置(Hu Z C et al., 2015),即使在激光脉冲频率低于1 Hz条件下也能获得平滑的分析信号,适用于高U含量样品的微区测试(Zong K Q et al., 2015)。本次分析采用的激光束斑和频率分别为16 μm和2 Hz,U-Th-Pb同位素定年中采用独居石标准物质44069和玻璃标准物质NIST610作外标分别进行同位素和微量元素的分馏校正,每分析约10个样品点,分析2次标样。分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校

正、元素含量及U-Th-Pb同位素比值和年龄计算)采用软件ICPMsDataCal(Liu Y S et al., 2008, 2010)完成。独居石样品的U-Pb年龄谐和图绘制和年龄加权平均计算采用Isoplot软件(Ludwig, 2003)完成。

### 3 分析结果

样品(21-sp-1)中独居石呈浅黄色,自形-半自形,矿物颗粒大小多在50~100 μm之间,多颗独居石具有微弱的振荡环带(图4),选取样品20-SP-1中的25颗独居石进行了25个点的分析测试(图4,表1),其Pb含量为 $1085 \times 10^{-6}$ ~ $2785 \times 10^{-6}$ ,相对较低;而Th、U含量较高,分别为 $45455 \times 10^{-6}$ ~ $147050 \times 10^{-6}$ 和 $807 \times 10^{-6}$ ~ $11250 \times 10^{-6}$ ;Th/U比值为6.3~102.4,平均为37.5。

获得的25组独居石数据点测定的年龄值均位于谐和线上或附近(图5a),其中一个测点(点22)的年龄值( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $426.1 \pm 5.6$  Ma)明显高于其它测点,未参与加权平均年龄计算。其余24个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值较为集中,变化于414~398 Ma之间,加权平均年龄为 $405.1 \pm 2.1$  Ma(MSWD=2.8, n=24)(图5b)。

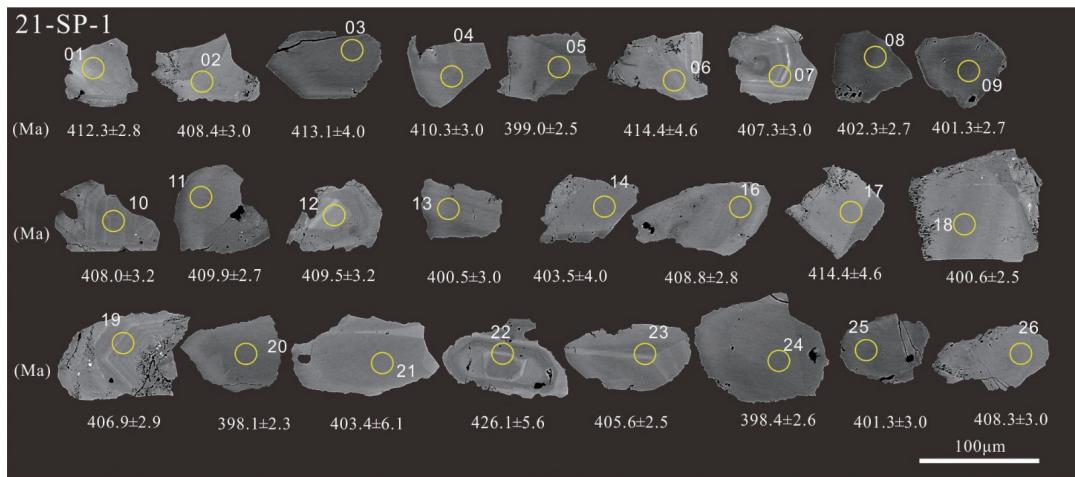


图4 沙坪钨矿区花岗岩独居石阴极发光图像(黄圈为U-Pb年龄测试位置)

Fig. 4 Monazite CL images of the granite in the Shaping W deposit (Yellow circles indicating the laser spot of U-Pb dating analysis)

## 4 讨论

本次获得沙坪矿区白钨矿赋矿围岩细粒二云母二长花岗岩的独居石 U-Pb 年龄为  $405.0\pm2.1$  Ma。该岩株全岩白钨矿化,白钨矿的矿物学特征显示,其矿物颗粒较小,在花岗岩中呈浸染状,以副矿物的形式存在于石英与长石等造岩矿物粒间,自形程度较高,其与造岩矿物间接接触界线平直(图 3e、f),且与相邻石英和长石间未见有明显热液蚀变现象,指示白钨矿很可能为花岗质岩浆热液阶段结晶形成,据此推测围岩花岗岩的成岩年龄可代表矿区白钨矿的成矿年龄。因此,沙坪白钨矿的成岩成矿作用均发生于加里东晚期。

与沙坪矿区毗邻的平滩白钨矿床产于加里东期早侵入次粗中粒黑云母二长花岗岩的内部,其成矿年龄(辉钼矿 Re-Os 年龄  $427\pm5.4$  Ma)与围岩粗中粒黑云母二长花岗岩成岩年龄(锆石 U-Pb 年龄  $430.8\pm2.4$  Ma)在误差范围内一致,指示平滩白钨矿床的成矿作用与加里东早侵入次花岗岩关系密切(Chen J F et al., 2019)。本次获得沙坪钨矿区花岗岩独居石的 U-Pb 年龄为  $405.0\pm2.1$  Ma,代表了该区晚侵入次细粒二云母二长花岗岩的成岩成矿年龄,综合区内早、晚侵入次花岗岩的成矿作用,可知苗儿山岩体北西部的钨成矿作用主要发生于  $430\sim405$  Ma。

苗儿山-越城岭岩基内部或周边发育有百余个钨锡多金属矿床(点)(图 1),是南岭印支-加里东期钨锡矿的重要矿集区(Zhang R Q et al., 2015),以往关于该岩基成矿作用的研究工作显示,苗儿山岩体南部的成矿作用主要发生于印支期(图 1),如伍静等(2012)获得云头界 W-Mo 矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为  $216.8\pm7.5$  Ma;张迪等(2015)获得高岭矿区石英脉型钨矿的白钨矿 Sm-Nd 年龄为  $212\pm20$  Ma;Zhao K D et al.(2014)指出豆乍山印支期花岗岩具备良好的 W-Sn 找矿远景。而在有关越城岭岩体钨矿床成矿作用的年龄方面,其南部的牛塘界钨矿床白钨矿 Sm-Nd 测年结果为  $421\pm24$  Ma(杨振等,2014);张强和陆建军(2019)首次报导了南岭地区加里东期花岗岩锡矿的成矿作用,所获得的越城岭东部李家锡矿的锡石 U-Pb 年龄介于  $431\sim428$  Ma 之间;位于岩体东部的独石岭钨(铜)多金属矿床发生了加里东期、印支期和燕山期的多期成矿作用(Li J D et al., 2019),而钨矿的成矿主要发生在加里东期(Chen W D et al., 2016)。此外,苗儿山和越城岭地区的成矿作用存在时间上的差异,即越城岭岩体的成矿作用主要发生在加里东期,而苗儿山岩体则主要为印支期(Chen W D et al., 2016)。苗儿山岩体北西部近年新发现的平滩钨(钼)矿床和落家冲钨锡矿床均已被证实形成于加里东期(Chen J F et al., 2019; 杜云等,2022)。结合本次沙坪钨矿区的定年结果,表明苗儿山岩体北西部的钨

表1 沙坪钨矿区花岗岩独居石U-Pb测年结果

Table 1 Monazite U-Th-Pb dating results of the Shaping granite

样品点号	含量 ( $\times 10^{-6}$ )			普通 Pb			同位素比值			年龄 (Ma)								
	Pb (Total)	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$1\sigma$	
21-SP-1-01	1085	45455	5549	0.5	0.50403	0.01033	0.06605	0.00047	0.02092	0.00012	420.4	44.4	414.4	7.0	412.3	2.8	418.5	2.4
21-SP-1-02	1619	87906	3257	3.5	0.50035	0.01001	0.06541	0.00049	0.02029	0.00011	435.2	48.1	411.9	6.8	408.4	3.0	406.0	2.2
21-SP-1-03	1259	72699	807	0.0	0.52335	0.01854	0.06618	0.00067	0.02069	0.00011	505.6	80.5	427.4	12.4	413.1	4.0	414.0	2.2
21-SP-1-04	2026	113140	2178	12.1	0.48539	0.01894	0.06571	0.00050	0.02058	0.00011	338.9	83.3	401.8	12.9	410.3	3.0	411.7	2.2
21-SP-1-05	1597	79735	4829	0.0	0.49839	0.00952	0.06385	0.00041	0.02029	0.00011	476.0	42.6	410.6	6.5	399.0	2.5	405.9	2.2
21-SP-1-06	1767	82324	5604	75.0	0.53514	0.02365	0.06639	0.00076	0.02058	0.00018	505.6	90.7	435.2	15.6	414.4	4.6	411.8	3.6
21-SP-1-07	2597	147060	2311	0.2	0.49410	0.01102	0.06522	0.00049	0.02033	0.00012	405.6	43.5	407.7	7.5	407.3	3.0	406.8	2.5
21-SP-1-08	1261	56530	5464	0.8	0.48502	0.00854	0.06435	0.00044	0.02022	0.00012	398.2	34.3	401.5	5.8	402.0	2.7	404.5	2.3
21-SP-1-09	1458	69342	5271	1.4	0.48181	0.00745	0.06423	0.00045	0.02014	0.00011	387.1	41.7	399.3	5.1	401.3	2.7	403.1	2.2
21-SP-1-10	1854	105166	1710	0.9	0.47341	0.01239	0.06533	0.00052	0.02027	0.00011	322.3	63.0	393.5	8.5	408.0	3.2	405.6	2.1
21-SP-1-11	1781	95251	3108	4.2	0.54295	0.01173	0.06565	0.00045	0.02038	0.00011	598.2	46.3	440.4	7.7	409.9	2.7	407.7	2.2
21-SP-1-12	2187	121306	2396	0.6	0.50851	0.01067	0.06558	0.00052	0.02057	0.00013	464.9	54.6	417.4	7.2	409.5	3.2	411.5	2.5
21-SP-1-13	2022	94130	7565	5.7	0.48399	0.00817	0.06410	0.00049	0.02051	0.00012	398.2	35.2	400.8	5.6	400.5	3.0	410.4	2.4
21-SP-1-14	1247	73338	653	3.5	0.48912	0.01988	0.06460	0.00066	0.02019	0.00011	416.7	92.6	404.3	13.6	403.5	4.0	404.1	2.3
21-SP-1-16	1583	86793	2340	5.1	0.48686	0.01153	0.06547	0.00046	0.02044	0.00011	368.6	55.6	402.8	7.9	408.8	2.8	408.9	2.2
21-SP-1-17	2785	122625	11250	18.6	0.52034	0.00802	0.06370	0.00038	0.02132	0.00013	572.3	33.3	425.4	5.4	398.1	2.3	426.4	2.5
21-SP-1-18	1196	45959	7247	2.5	0.49102	0.00823	0.06411	0.00041	0.02066	0.00011	431.5	41.7	405.6	5.6	400.6	2.5	413.4	2.2
21-SP-1-19	1897	107661	2052	5.2	0.53033	0.01380	0.06515	0.00048	0.02029	0.00011	568.6	52.8	432.0	9.2	406.9	2.9	406.0	2.2
21-SP-1-20	2426	131045	4087	2.04	0.51051	0.00941	0.06577	0.00050	0.02042	0.00013	464.9	34.3	418.8	6.3	410.6	3.1	408.7	2.5
21-SP-1-21	1799	102838	1772	0.0	0.50360	0.01145	0.06457	0.00101	0.02016	0.00011	498.2	53.7	414.1	7.7	403.4	6.1	403.4	2.2
21-SP-1-22	1592	90951	888	7.96	0.51093	0.06274	0.06833	0.00093	0.02049	0.00012	250.1	233.3	419.1	42.2	426.1	5.6	410.0	2.4
21-SP-1-23	1903	92134	6173	0.0	0.48773	0.00765	0.06494	0.00042	0.02027	0.00011	390.8	39.8	403.4	5.2	405.6	2.5	405.7	2.3
21-SP-1-24	1883	90116	6717	0.6	0.47919	0.00787	0.06376	0.00042	0.02007	0.00012	390.8	37.0	397.5	5.4	398.4	2.6	401.7	2.3
21-SP-1-25	1573	71669	6672	2.1	0.48178	0.00791	0.06422	0.00049	0.02007	0.00011	387.1	41.7	399.3	5.4	401.3	3.0	401.6	2.3
21-SP-1-26	1861	101949	2822	3.2	0.48556	0.01034	0.06539	0.00050	0.02035	0.00011	364.9	48.1	401.9	7.1	408.3	3.0	407.2	2.2

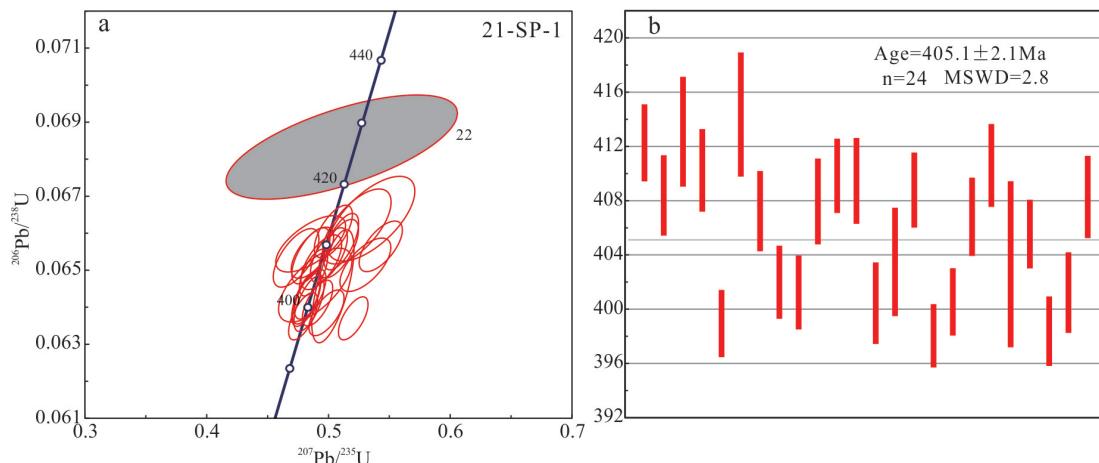


图5 沙坪钨矿矽化花岗岩独居石U-Pb谐和曲线图(a)和加权平均年龄图(b)

Fig. 5 LA-ICPMS U-Pb concordia age plots (a) and weighted average diagram (b) for monazite from the granite of the Shaping W deposit

多金属成矿作用多发生于加里东期。

岩浆源区成矿元素的预富集是钨锡成矿的必要条件 (Zhao P L et al., 2021a), 因此南岭地区钨(锡)矿床的形成一般与花岗岩体内(晚期)高度演化的小岩株(枝)密切相关, 而大面积出露的花岗岩(岩基)基本不能直接形成钨锡矿床(袁顺达, 2017; Zhao P L et al., 2021b), 如位于南岭中段的彭公庙及万洋山加里东期岩基内的几个钨矿床, 其成矿作用均被证实发生于燕山期 (Yuan S D et al., 2018; Yuan Y B et al., 2018; 于玉帅等, 2022)。沙坪钨矿区的赋矿围岩即为苗儿山岩基内加里东期高度演化的细粒二云母二长花岗岩岩株, 岩株的全岩钨矿化可能与该区早期花岗岩浆钨元素的预富集有关。除以沙坪矿区为代表的晚侵入次花岗岩外, 苗儿山岩基的主体岩性为加里东期早侵入次(粗)中粒黑云母二长花岗岩, 其侵位年龄为~430 Ma (Zhao K D et al., 2013; 柏道远等, 2014; Chen J F et al., 2019), 早侵入次的花岗岩也与钨的成矿作用有关(如平滩白钨矿床、落家冲钨锡矿床等)。在包括苗儿山-越城岭复式花岗岩基南部在内的桂北地区, 起源于同一岩浆房的加里东期花岗岩具有从南到北酸性程度逐渐增加的特点(李文杰等, 2006), 尤其是位于最北部的苗儿山-越城岭岩体为由分异程度较高的岩浆侵位后形成。而苗儿山岩体北西部平滩白钨矿一带位于该复式岩基的最北端, 其加里东期早

侵入次的花岗岩经历了明显的分异作用(Chen J F et al., 2019), 岩体钨的富集系数高, 该区富含钨的壳源重熔型花岗岩浆, 为直接成矿(平滩白钨矿)或是进一步演化为晚期直接成矿的细粒花岗岩(沙坪白钨矿)提供了充足的物源。

在湖南省地质调查院所完成的苗儿山地区矿产地质调查项目中, 在苗儿山西北部新发现了沙坪、落家冲等具有中大型找矿远景的钨(锡)矿床, 而苗儿山东北部暂未实现钨锡矿床找矿工作的突破, 事实上在该区完成的化探工作成果(田磊等, 2021)显示在苗儿山北部地区(尤其是东北部)有良好的钨、锡异常, 指示了该区优越的钨锡矿床找矿前景, 因此, 今后在苗儿山岩体北部部署相关地质矿产勘查工作, 有望在寻找加里东期钨锡多金属矿床方面获得重大突破。

## 5 结论

苗儿山岩体西北部的沙坪钨矿赋矿围岩为加里东期晚侵入次细粒二云母二长花岗岩, 矿物学特征指示白钨矿为花岗岩岩浆热液阶段结晶形成, 结合以往所识别出的早侵入次花岗岩的成矿作用, 认为早、晚侵入次花岗岩的成矿作用均与该区岩浆经历了较高程度的分异作用有关, 其年代学的证据显示该区钨(锡)矿床的成矿作用发生于430~405

Ma。苗儿山岩体北部具有较大的加里东期钨锡矿床找矿潜力。

### 参考文献:

- 柏道远,钟响,贾朋远,熊雄,黄文义. 2014. 南岭西段加里东期苗儿山岩体锆石SHRIMP U-Pb年龄、地球化学特征及其构造意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 33(3):407-423.
- 蔡明海,陈开旭,屈文俊,刘国庆,付建明,印建平. 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿Re-Os测年 [J]. 矿床地质, 25(3):263-268.
- 陈骏,陆建军,陈卫锋,王汝成,马东升,朱金初,张文兰,季峻峰. 2008. 南岭地区钨锡铌钽花岗岩及其成矿作用 [J]. 高校地质学报, 14(4):459-473.
- 陈懋弘,莫次生,黄智忠,李斌,黄宏伟. 2011. 广西苍梧县社垌钨钼矿床花岗岩类锆石LA-ICP-MS和辉钼矿Re-Os年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 30(6):963-978.
- 陈懋弘,郭云起,梁宾,黄宏伟. 2012. 广西苍梧县武界钨矿点成岩成矿年龄及岩体地球化学特征 [J]. 桂林理工大学报, 32(1):1-13.
- 程顺波,付建明,马丽艳,蒋桂新,陈希清,卢友月,童喜润. 2013. 桂东北越城岭-苗儿山地区印支期成矿作用:油麻岭和界牌矿区成矿花岗岩锆石U-Pb年龄和Hf同位素制约 [J]. 中国地质, 40(4):1189-1201.
- 程顺波,付建明,马丽艳,卢友月,寇晓虎,张利国,黄惠兰. 2016. 桂东北越城岭岩体加里东期成岩作用:锆石U-Pb年代学、地球化学和Nd-Hf同位素制约 [J]. 大地构造与成矿学, 40(4):853-872.
- 杜云,罗小亚,黄革非,田磊,王敬元,周立同. 2017. 湘西南苗儿山岩体北段印支期花岗岩成因:来自地球化学、U-Pb年代学证据 [J]. 华南地质与矿产, 33(3):229-242.
- 杜云,田磊,郑正福,陈剑锋,张小强,王敬元,周立同,樊晖,李超. 2022. 湘西南落家冲钨锡矿床加里东期成岩成矿年龄的测定:对华南多旋回构造-岩浆活动与成矿作用的启示 [J]. 地质通报, 41(5):886-902.
- 郭春丽,刘泽坤. 2021. 华南地区加里东期花岗岩:成岩和成矿作用的地质与地球化学特征 [J]. 地球科学与环境学报, 43(6):927-961.
- 华仁民,李光来,张文兰,胡东泉,陈培荣,陈卫锋,王旭东. 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探 [J]. 矿床地质, 29(1):9-23.
- 华仁民,张文兰,陈培荣,翟伟,李光来. 2013. 初论华南加里东花岗岩与大规模成矿作用的关系 [J]. 高校地质学报, 19(1):1-11.
- 蒋少涌,赵葵东,姜海,苏慧敏,熊索菲,熊伊曲,徐耀明,章伟,朱律运. 2020. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展 [J]. 科学通报, 65(33):3730-3745.
- 李文杰,梁金城,冯佐海,张桂林,陈懋弘,袁爱平. 2006. 桂东北地区几个加里东期花岗岩体的地球化学特征及其构造环境的判别 [J]. 矿产与地质, 20(3):353-360.
- 李晓峰,冯佐海,李容森,唐专红,屈文俊,李军朝. 2006. 华南志留纪钼的矿化:白石顶钼矿锆石SHRIMPU-Pb年龄和辉钼矿Re-Os年龄证据 [J]. 矿床地质, 28(4):403-412.
- 刘善宝,王登红,陈毓川,李建康,应立娟,许建祥,曾载淋. 2008. 赣南崇义-大余-上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 82(7):932-940.
- 罗鹏,陈迪,杨俊,凌跃新,罗来. 2021. 湖南川口印支期花岗岩成因及与钨成矿关系 [J]. 华南地质, 37(3):247-264.
- 彭能立,王先辉,杨俊,陈迪,罗来,罗鹏,刘天一. 2017. 湖南川口三角潭钨矿床中辉钼矿Re-Os同位素定年及其地质意义 [J]. 矿床地质, 36(3):1042-1414.
- 田磊,杜云,邹源,刘邦定,张小强,樊晖. 2021. 湘西南苗儿山地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向 [J]. 华南地质, 37(2):164-176.
- 王登红,陈毓川,陈郑辉,刘善宝,许建祥,张家菁,曾载淋,陈富文,李华芹,郭春丽. 2007. 南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究 [J]. 地质学报, 81(7):882-890.
- 伍静,梁华英,黄文婷,王春龙,孙卫东,孙亚莉,李晶,莫济海,王秀璋. 2012. 桂东苗儿山-越城岭西部岩体和矿床同位素年龄及华南印支期成矿分析 [J]. 科学通报, 57(13):1126-1136.
- 于玉帅,周云,牛志军,安志辉,刘阿睢. 2022. 湖南彭公庙岩体地球化学特征、时代及钨锡成矿潜力 [J]. 岩石矿物学杂志, 41(4):695-713.
- 谢桂青,毛景文,张长青,李伟,宋世伟,章荣清. 2021. 华南地区三叠纪矿床地质特征、成矿规律和矿床模型 [J]. 地学前缘, 20(5):252-270.
- 杨振,王汝成,张文兰,储著银,陈骏,朱金初,章荣清. 2014. 桂北牛塘界加里东期花岗岩及其矽卡岩型钨成矿作用研究 [J]. 中国科学:地球科学, 44(7):1357-1373.
- 袁顺达,侯可军,刘敏. 2010. 安徽宁芜地区铁氧化物-磷灰石矿床中金云母Ar-Ar定年及其地球动力学意义 [J]. 岩石学报, 23(3):797-808.
- 袁顺达,张东亮,双燕,杜安道,屈文俊. 2012. 湘南新田岭大型钨钼矿床辉钼矿Re-Os同位素测年及其地质意义 [J]. 岩石学报, 28(1):27-38.
- 袁顺达. 2017. 南岭钨锡成矿作用几个关键科学问题及其对区域找矿勘查的启示 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 36

- (5):736-749.
- 张迪, 张文兰, 王汝成, 储著银, 龚名文, 蒋桂新. 2015. 桂北苗儿山地区高岭印支期花岗岩及石英脉型钨成矿作用 [J]. 地质论评, 61(4):817-834.
- 张强, 陆建军. 2019. 苗儿山-越城岭地区加里东期钨锡成矿作用 [A]. 第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集 [C]. 53-54.
- Chen J, Wang R C, Zhu J C, Lu J J, Ma D S. 2013. Multiple-aged granitoids and related tungsten-tin mineralization in the Nanling Range, South China [J]. Science China: Earth Sciences, 56(12): 2045-2055.
- Chen J F, Shen G D, Shao Y J, Zhang J X, Liu Z F, Wei H T, Yang Q D, Luo X Y, Du Y. 2019. Silurian S-type granite-related W-(Mo) mineralization in the Nanling Range, South China: A case study of the Pingtan W-(Mo) deposit [J]. Ore Geology Reviews, 107: 186-200.
- Chen W D, Zhang W L, Wang R C, Chu Z Y, Xiao R, Zhang D, Che X D. 2016. A study on the Dushiling tungsten-copper deposit in the Miao'ershan-Yuechengling area, Northern Guangxi, China: Implications for variations in the mineralization of multi-aged composite granite plutons [J]. Science China: Earth Sciences, 59(11): 2121-2141.
- Harrison T M, Catlos E J, Montel J M. 2002. U-Th-Pb dating of phosphate minerals [J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 48: 523-558.
- Hu Z C, Zhang W, Liu Y S, Gao S, Li M, Zong K Q, Chen H H, Hu S H. 2015. "Wave" signal-smoothing and mercury-removing device for laser ablation quadrupole and multiple collector ICPMS analysis: application to lead isotope analysis [J]. Analytical Chemistry, 87(2): 1152-1157.
- Li J D, Li X F, Xiao R. 2019. Multiple-stage tungsten mineralization in the Silurian Jiepai W skarn deposit, South China: Insights from cathodoluminescence images, trace elements, and fluid inclusions of scheelite [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 181: 103898.
- Li Q L, Li X H, Lan Z W, Guo C L, Yang Y N, Liu Y, Tang G Q. 2013. Monazite and xenotime U-Th-Pb geochronology by ion microprobe: dating highly fractionated granites at Xihuashan tungsten mine, SE China [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 166: 65-80.
- Liu P, Mao J W, Santosh M, Bao Z, Zeng X, Jia L H. 2018a. Geochronology and petrogenesis of the Early Cretaceous A-type granite from the Feieshan W-Sn deposit in the eastern Guangdong Province, SE China: Implications for W-Sn mineralization and geodynamic setting [J]. Lithos, 300-301: 330-347.
- Liu P, Mao J W, Santosh M, Xu L G, Zhang R Q, Jia L H. 2018b. The Xiling Sn deposit, eastern Guangdong Province, Southeast China: a new genetic model from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  muscovite and U-Pb cassiterite and zircon geochronology [J]. Economic Geology, 113 (2): 511-530.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Günther D, Xu J, Gao C G, Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 257(1-2): 34-43.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q, Wang D B. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 51 (1-2): 537-571.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3. 00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center, California, 1-39.
- Mao J W, Cheng Y B, Chen M H, Franco P. 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings [J]. Mineralium Deposita, 48: 267-294.
- Mao J W, Ouyang H G, Song S W, Santosh M, Yuan S D, Zhou Z H, Zheng W, Liu H, Liu P, Cheng Y B, Chen M H. 2019. Geology and metallogeny of tungsten and tin deposits in China [J]. Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications, 22: 411-482.
- Mao Z H, Cheng Y B, Liu J J, Yuan S D, Wu S H, Xiang X K, Luo X H. 2013. Geology and molybdenite Re-Os age of the Dahutang granite-related veinlets-disseminated tungsten ore field in the Jiangxi Province, China [J]. Ore Geology Reviews, 53: 422-433.
- Qin J H, Wang D H, Li C, Chen Y C, Cai F C. 2020. The molybdenite Re-Os isotope chronology, in situ scheelite and wolframite trace elements and Sr isotope characteristics of the Chuankou tungsten ore field, South China [J]. Ore Geology Reviews, 126: 103756.
- Seydoux-Guillaume A M, Paquette J L, Wiedenbeck M, Montel J M and Heinrich W. 2002. Experimental resetting of the U-Th-Pb systems in monazite [J]. Chemical Geology, 191: 165-181.
- White L T, Ireland T R. 2012. High-uranium matrix effect in

- zircon and its implications for SHRIMP U-Pb age determinations [J]. *Chemical Geology*, 306-307: 78-91.
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z, Dai T M. 2007.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic ore field in Southern Hunan, China and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(2): 278-286.
- Yuan S D, Peng J T, Hu R Z, Li H M, Shen N P, Zhang D L. 2008. A precise U-Pb age on cassiterite from the Xianghualing tin-polymetallic deposit (Hunan, South China) [J]. *Mineralium Deposita*, 43: 375-382.
- Yuan S D, Peng J T, Hao S, Li H M, Geng J Z, Zhang D L. 2011. In situ LA-MC-ICP-MS and ID-TIMS U-Pb geochronology of cassiterite in the giant Furong tin deposit, Hunan Province, South China: new constraints on the timing of tin-polymetallic mineralization [J]. *Ore Geology Reviews*, 43: 235-242.
- Yuan S D, Williams-Jones A E, Mao J W, Zhao P L, Yan C, Zhang D L. 2018. The origin of the Zhangjialong tungsten deposit, South China: Implications for W-Sn mineralization in large granite batholiths [J]. *Economic Geology*, 113 (5): 1193-1208.
- Yuan S D, Williams-Jones A E, Romer R F, Zhao P L, Mao J W. 2019. Protolith-Related Thermal Controls on the Decoupling of Sn and W in Sn-W Metallogenic Provinces: Insights from the Nanling Region, China [J]. *Economic Geology*, 114(5): 1005-1012.
- Yuan Y B, Yuan S D, Mao J W, Zhao P L, Yan C, Zhao H J, Zhang D L, Shuang Y, Peng J T. 2018. Recognition of Late Jurassic W-Sn mineralization and its exploration potential on the western margin of the Caledonian Guidong granite batholith, Nanling Range, South China: geochronological evidence from the Liuyuan Sn and Zhuyuanli W deposit [J]. *Ore Geology Reviews*, 93: 220-230.
- Zhang R Q, Lu J J, Wang R C, Yang P, Zhu J C, Gao J F, Li C, Zhang W L, Guo W M. 2015. Constraints of in situ zircon and cassiterite U-Pb, molybdenite Re-Os and muscovite  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages on multiple generations of granitic magmatism and related W-Sn mineralization in the Wangxianling area, Nanling Range, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 1021-1042.
- Zhao K D, Jiang S Y, Sun T, Chen W F, Ling H F, Chen P R. 2013. Zircon U-Pb dating, trace element and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of Paleozoic granites in the Miao'ershan-Yuechengling batholith, South China: Implication for petrogenesis and tectonic-magmatic evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74: 244-264.
- Zhao K D, Jiang S Y, Ling H F, Palmer M R. 2014. Reliability of LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons with high U concentrations: A case study from the U-bearing Douzhashan granite in South China [J]. *Chemical Geology*, 389: 110-121.
- Zhao P L, Zajacz Z, Tsay A, Yuan S D. 2021a. Magmatic-hydrothermal tin deposits form in response to efficient tin extraction upon magma degassing [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 316: 331-346.
- Zhao P L, Chu X, Williams-Jones A, Mao J W, Yuan S D. 2021b. The role of phyllosilicate partial melting in segregating tungsten and tin deposits in W-Sn metallogenic provinces [J]. *Geology*, 50: 121-125.
- Zhao Z, Zhao W W, Lu L, Wang H Y. 2018. Constraints of multiple dating of the Qingshan tungsten deposit on the Triassic W(-Sn) mineralization in the Nanling region, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 94: 46-57.
- Zong K Q, Chen J Y, Hu Z C, Liu Y S, Li M, Fan H H, Meng Y N. 2015. In-situ U-Pb dating of uraninite by fs-LA-ICP-MS [J]. *Science China: Earth Sciences*, 58: 1731-1740.