



湘南彭公庙加里东期含白钨矿细晶岩脉的发现

张文兰^①, 王汝成^{①*}, 雷泽恒^②, 华仁民^①, 朱金初^①, 陆建军^①, 谢磊^①, 车旭东^①,
章荣清^①, 姚远^①, 陈骏^①

① 南京大学地球科学与工程学院, 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093;

② 湖南省湘南地质勘察院, 郴州 423000

* 联系人, E-mail: rcwang@nju.edu.cn

2011-01-05 收稿, 2011-04-19 接受

国家自然科学基金重点项目(40730423)、国家重点基础研究发展计划(2007CB411404)、中国地质调查局调查项目(1212010632100)和国土资源部“深部探测计划”(201011046)资助

摘要 彭公庙花岗岩是南岭地区的一个大型岩基, 近年来在其周围陆续发现了多条白钨矿石英脉. 本文利用 LA-ICP-MS 技术测定了彭公庙花岗岩体中的锆石 U-Pb 年龄, 不仅证实该岩体的主体——中粗粒黑云母花岗岩为加里东期花岗岩(约 435~436 Ma), 而且还发现其中的细晶岩脉亦属加里东期(426.5 Ma), 特别是基于岩相学研究在该岩脉中鉴定出岩浆成因的白钨矿, 说明南岭地区确实存在加里东期含钨花岗岩. 这项成果对于深入研究前燕山期花岗岩的成矿潜力以及燕山期大规模成矿作用具有较重要的指示意义, 同时也显示加里东期花岗岩值得进一步深入研究, 尤其是细晶岩或细粒花岗岩是进一步寻找加里东期含钨花岗岩和钨成矿作用的重要窗口.

关键词

白钨矿
细晶岩
加里东花岗岩
含钨花岗岩
彭公庙

中国东部南岭地区广泛出露加里东期、印支期和燕山期花岗岩^[1,2], 但是, 大规模钨锡稀有金属矿床大部分与燕山期花岗岩有着紧密的成因关系, 成矿作用亦以燕山期为主^[3,4]. 前人已经注意到加里东期花岗岩或印支期花岗岩可能与成矿作用有关^[5~8], 但是南岭地区燕山期之前的花岗岩, 尤其是加里东期花岗岩是否能够发生成矿作用, 仍是悬而未决的重大问题, 因此一直受到我国许多单位和研究者高度关注.

华南存在大量的加里东期花岗岩^[9,10]. 位于湖南东部的彭公庙岩体出露面积约 900 km², 早在 20 世纪 60 年代南京大学完成的《华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系研究》科学技术研究报告中^[11], 就将彭公庙岩体定为加里东期花岗岩, 但几十年来几乎没有在彭公庙岩体中开展过找矿工作. 2006~2008 年湖南省湘南地质勘察院在进行 1:5 万矿产远景调查时, 在彭公庙岩体南缘张家垄地区, 发现了白钨矿石英

脉和矿化云英岩, 矿化规模可达中型. 作者在两次对张家垄钨矿区进行野外考察的基础上, 试图弄清加里东期花岗岩与钨矿化的成因关系. 本文将报道这一研究工作的最新成果.

1 地质概况

彭公庙岩体是南岭地区的一个大型岩基. 1959~1961 年南京大学地质系根据中泥盆统跳马涧组与彭公庙花岗岩之间的不整合接触关系, 首次提出该岩体属于加里东晚期侵入的花岗岩^[11~14]. 李璞等人^[15]利用 K-Ar 同位素方法对彭公庙花岗岩进行了定年, 获得了其侵位年龄为 385 Ma, 进一步确认彭公庙花岗岩属于加里东中晚期. 彭公庙岩体可划分为 5 个单元: 汤市单元、马脑下单元、兰溪单元、香树垄单元和恩垄单元^[16]. 本文将这 5 个单元简化为早、晚两个侵入阶段: 早阶段包括前 3 个单元, 其岩性为中粗粒(有时有细粒)斑状黑云母二长花岗岩, 约占整个岩体

英文版见: Zhang W L, Wang R C, Lei Z H, et al. Zircon U-Pb dating confirms existence of a Caledonian scheelite-bearing aplitic vein in the Penggongmiao granite batholith, South Hunan. Chinese Sci Bull, 2011, 56, doi: 10.1007/s11434-011-4526-8

的 60%，属于主体部分；晚阶段包括后 2 个单元，其岩性为细粒(有时中粒)斑状黑云母二长花岗岩，约占整个岩体的 40%，主要分布在北东向硅化破碎带以西。张家垄矿区位于彭公庙岩体的南缘(图 1)，采矿坑道内发现细晶岩脉穿插在斑状黑云母花岗岩中，接触界限截然、平直，脉宽 30~50 cm；在中粗粒斑状花岗岩与围岩接触部位发现 11 条白钨矿石英脉，它们在花岗岩中沿北西向分布^[17]，矿脉长 400~1800 m 不等，但是由于野外工程揭露较差，尚无法判断细晶岩脉与石英脉的空间关系。

2 花岗岩的岩石学特征

彭公庙主体花岗岩为中粗粒斑状黑云母花岗岩，

灰色-灰白色，粗粒似斑状结构，块状构造(图 2(a))，斑晶为更长石和微斜长石，主要矿物为更长石、微斜长石、石英、黑云母，副矿物为磷灰石、金红石、榍石和锆石。

细晶岩脉为浅灰色、细粒结构、致密块状构造(图 2(b))，细晶岩脉与主体花岗岩为侵入接触关系，接触界限明显。主要矿物为钾长石、钠长石、石英和微量的白云母，副矿物有磷灰石、锆石、钛铁矿、白钨矿。

3 花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

用于本文锆石 U-Pb 同位素定年的花岗岩样品来自张家垄矿区。样品 ZJL-07 为 307 号探槽中强烈风

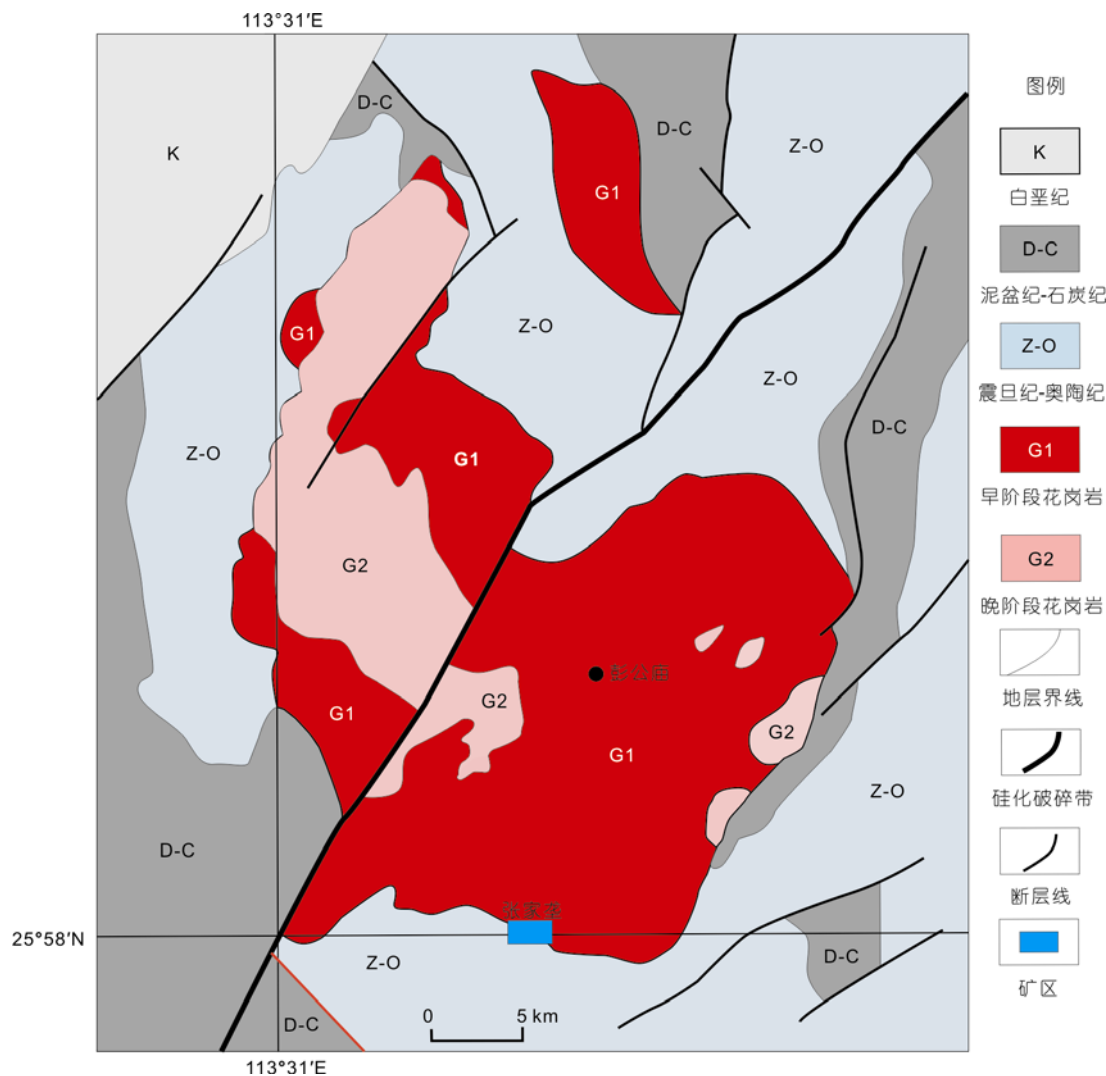


图 1 彭公庙岩体地质简图
据文献[16]简化

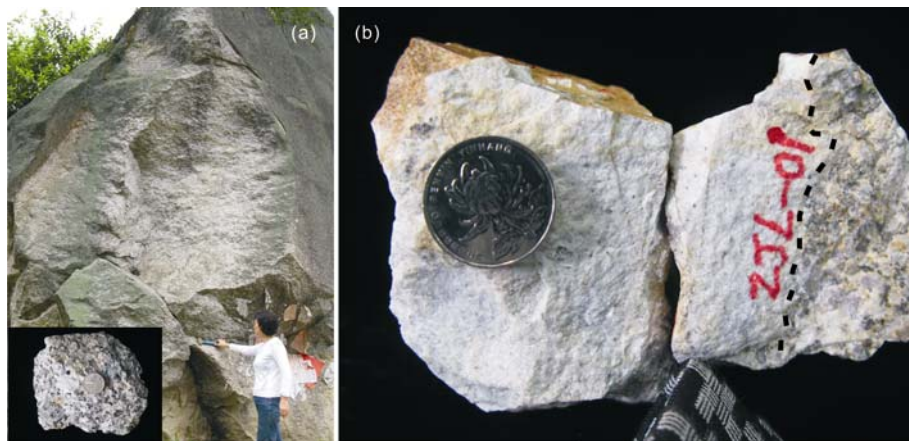


图2 彭公庙花岗岩照片

(a) 彭公庙中粗粒斑状黑云母花岗岩, 插图为采集的标本; (b) 穿插在主体花岗岩中的细晶岩脉手标本, 右侧的一块样品显示两者的接触界限

化的中粗粒黑云母花岗岩, 样品 ZJL-10 为沿公路采集的新鲜中粗粒黑云母花岗岩(采样点见图 2(a)), 样品 ZJL-01 采自坑道口的细晶岩脉(图 2(b)). 利用南京大学内生金属矿床成矿作用研究国家重点实验室电子探针室进行矿物岩相特征观察; 锆石定年工作在同一重点实验室的 LA-ICP-MS 实验室完成, 分析条件与参数详见文献[18], 锆石 U-Pb 分析结果见表 1, 谐和曲线见图 3.

样品 ZJL-07(风化的中粗粒黑云母花岗岩)中 22 颗锆石颗粒的 U-Pb 同位素定年的谐和曲线见图 3(a), 3 颗锆石给出较老和较年轻的离群年龄, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 456, 423 和 547 Ma, 另外 19 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 434~437 Ma 之间, 其加权平均年龄为 435.3 ± 2.7 Ma.

样品 ZJL-10(新鲜中粗粒黑云母花岗岩)中的锆石 U-Pb 同位素定年的谐和曲线见图 3(b), 一共分析了 21 颗锆石, 其中 15 颗的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 435~438 Ma 之间, 其余 6 颗给出了较老的离群年龄, 分别为 451, 477, 465, 991, 470 和 491 Ma, 15 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 436.2 ± 3.1 Ma.

细晶岩脉中锆石的 U-Pb 同位素定年的谐和曲线见图 3(c), 所分析的 23 颗锆石颗粒中, 20 个颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄范围在 425~428 Ma, 90% 点的年龄集中在 426~427 Ma 之间, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 426.5 ± 2.5 Ma. 另外 3 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 501, 468 和 2329 Ma, 明显偏老, 表明它们为继承锆石.

因此, 从上述 3 组年龄来看, 彭公庙主体中粗粒花岗岩的侵入年龄介于 435~436 Ma, 证实该岩体属

于加里东期, 而细晶岩脉的侵入年龄为 426.5 Ma, 表明它也属于加里东期的岩浆活动产物.

4 细晶岩中的白钨矿

黑钨矿和白钨矿是两种最重要的钨矿石矿物. 黑钨矿作为岩浆矿物可在花岗岩中出现^[19]. 虽然白钨矿可在花岗岩中出现(如江西西华山花岗岩^[20], 四川雪宝顶花岗岩^[21,22]), 但是它直接从岩浆中结晶的例子则非常罕见^[23]. 利用电子探针背散射电子成像技术对彭公庙花岗岩中的矿物进行了观察, 白钨矿仅在细晶岩脉中发现, 同一探针片中可见多颗白钨矿(图 4(a)), 它们均呈浸染状分散在岩石中, 与造岩矿物接触界限平直. 特别指出的是, 图 4(b)中的白钨矿颗粒自形, 粒径近 30 μm , 包裹在造岩矿物钠长石中, 该钠长石未见蚀变现象. 白钨矿与其他副矿物可以紧密共生(图 4(c)和(d)), 尤其是白钨矿与锆石镶嵌共生, 与它们相邻的钾长石亦未发生热液蚀变. 这些岩相特征表明, 白钨矿属于细晶岩脉岩浆阶段的结晶产物.

5 初步认识

本文对彭公庙花岗岩的年代学和岩相学研究工作, 不仅证实了彭公庙岩体为加里东期花岗岩, 而且还可以得出如下初步认识.

(1) LA-ICP-MS 锆石定年结果显示, 不仅彭公庙岩体的主体花岗岩属于加里东中期产物, 而且细晶岩脉亦为加里东期岩浆产物(晚期), 表明彭公庙岩体是多阶段岩浆侵入活动的产物.

表 1 彭公庙主体花岗岩及细粒花岗岩中锆石 LA-ICP-MS 定年数据^{a)}

分析点	同位素比值						Th (ppm)	U (ppm)	Th/U	表面年龄(Ma)		
	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ				²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
ZJL07-01	0.05567	0.00094	0.53601	0.00964	0.06984	0.00094	164	370	0.44	436±6	435±6	439±19
ZJL07-02	0.05527	0.00099	0.53346	0.01001	0.07001	0.00095	282	594	0.48	434±7	436±6	423±20
ZJL07-03	0.05482	0.00102	0.52653	0.01022	0.06967	0.00095	191	394	0.48	430±7	434±6	405±21
ZJL07-04	0.05431	0.00095	0.52349	0.00964	0.06991	0.00094	301	310	0.97	427±6	436±6	384±20
ZJL07-05	0.05608	0.0013	0.56665	0.01328	0.0733	0.00106	212	253	0.84	456±9	456±6	456±28
ZJL07-06	0.05553	0.0008	0.51922	0.00823	0.06782	0.00089	290	699	0.41	425±6	423±5	434±16
ZJL07-07	0.05577	0.00111	0.53776	0.01106	0.06994	0.00097	159	282	0.57	437±7	436±6	443±23
ZJL07-08	0.05554	0.00125	0.53312	0.01221	0.06963	0.00099	109	147	0.74	434±8	434±6	434±27
ZJL07-09	0.05856	0.0019	0.71494	0.02285	0.08856	0.00144	302	89	3.41	548±14	547±9	551±42
ZJL07-10	0.05548	0.0013	0.53284	0.01258	0.06966	0.00101	232	281	0.83	434±8	434±6	432±28
ZJL07-11	0.06015	0.00117	0.57953	0.01175	0.06988	0.00097	516	1106	0.47	464±8	435±6	609±22
ZJL07-12	0.05556	0.00151	0.53475	0.01457	0.06982	0.00106	295	324	0.91	435±10	435±6	435±34
ZJL07-13	0.05562	0.00093	0.53658	0.00961	0.06998	0.00094	306	481	0.63	436±6	436±6	437±19
ZJL07-14	0.05561	0.00128	0.5373	0.0126	0.07009	0.00101	181	314	0.58	437±8	437±6	437±28
ZJL07-15	0.05561	0.0009	0.53754	0.00937	0.07011	0.00094	203	564	0.36	437±6	437±6	437±18
ZJL07-16	0.05554	0.00098	0.53572	0.01001	0.06996	0.00095	314	419	0.75	436±7	436±6	434±20
ZJL07-17	0.05599	0.00097	0.53777	0.00992	0.06967	0.00094	541	918	0.59	437±7	434±6	452±20
ZJL07-18	0.05525	0.00121	0.53208	0.01197	0.06985	0.00099	155	359	0.43	433±8	435±6	422±26
ZJL07-19	0.05496	0.002	0.52796	0.01883	0.06968	0.00118	112	157	0.72	430±13	434±7	411±50
ZJL07-20	0.0561	0.00137	0.53986	0.0133	0.06981	0.00102	104	245	0.42	438±9	435±6	456±30
ZJL07-21	0.05544	0.0008	0.5345	0.0086	0.06994	0.00092	222	734	0.30	435±6	436±6	430±16
ZJL07-22	0.05549	0.00107	0.53521	0.01082	0.06996	0.00097	231	423	0.55	435±7	436±6	432±22
ZJL10-01	0.05686	0.0009	0.54834	0.00951	0.06995	0.00094	200	406	0.49	444±6	436±6	486±18
ZJL10-02	0.05765	0.00114	0.55596	0.01151	0.06995	0.00099	474	646	0.73	449±8	436±6	516±23
ZJL10-03	0.05536	0.00082	0.53579	0.00883	0.0702	0.00094	337	606	0.56	436±6	437±6	427±17
ZJL10-04	0.05564	0.0009	0.53685	0.00945	0.06999	0.00095	132	356	0.37	436±6	436±6	438±18
ZJL10-05	0.05571	0.00108	0.5375	0.0109	0.06998	0.00098	248	365	0.68	437±7	436±6	441±22
ZJL10-06	0.05892	0.00118	0.56844	0.01189	0.06998	0.00099	323	675	0.48	457±8	436±6	564±23
ZJL10-07	0.05495	0.00123	0.53121	0.0122	0.07012	0.00101	99	145	0.68	433±8	437±6	410±27
ZJL10-08	0.05571	0.00084	0.53742	0.00895	0.06997	0.00094	278	539	0.52	437±6	436±6	441±17
ZJL10-09	0.05566	0.00105	0.53898	0.01077	0.07023	0.00098	175	223	0.79	438±7	438±6	439±22
ZJL10-10	0.05554	0.00152	0.53542	0.01473	0.06993	0.00106	101	114	0.88	435±10	436±6	434±35
ZJL10-11	0.06056	0.00318	0.5829	0.02932	0.06982	0.00151	58	77	0.76	466±19	435±9	624±71
ZJL10-12	0.05574	0.00096	0.55643	0.01018	0.07241	0.00098	307	450	0.68	449±7	451±6	442±19
ZJL10-13	0.05569	0.00102	0.53759	0.01036	0.07002	0.00096	98	224	0.44	437±7	436±6	440±21
ZJL10-14	0.05571	0.00091	0.53574	0.0094	0.06976	0.00093	243	299	0.81	436±6	435±6	441±18
ZJL10-15	0.05315	0.00118	0.56245	0.01275	0.07676	0.00109	175	198	0.88	453±8	477±7	335±27
ZJL10-16	0.05444	0.00092	0.5251	0.00945	0.06997	0.00094	119	221	0.54	429±6	436±6	389±19
ZJL10-17	0.05461	0.00094	0.52657	0.00962	0.06995	0.00094	100	218	0.46	430±6	436±6	396±20
ZJL10-18	0.05647	0.00089	0.58236	0.00991	0.0748	0.00099	145	222	0.66	466±6	465±6	471±17
ZJL10-19	0.07331	0.00098	1.67939	0.02516	0.16617	0.00217	77	372	0.21	1001±10	991±12	1023±14
ZJL10-20	0.05776	0.0012	0.60187	0.01281	0.07559	0.00106	89	169	0.53	478±8	470±6	521±24
ZJL10-21	0.12357	0.00206	1.3484	0.02346	0.07916	0.00111	65	185	0.35	867±10	491±7	2008±14
ZJL01-1	0.05698	0.00081	0.63432	0.01022	0.08075	0.00109	280	580	0.48	499±6	501±7	491±16
ZJL01-2	0.05603	0.00112	0.52942	0.01108	0.06854	0.00098	217	355	0.61	431±7	427±6	454±23
ZJL01-3	0.05619	0.00085	0.52927	0.0089	0.06833	0.00093	217	355	0.61	431±6	426±6	460±17
ZJL01-4	0.05605	0.00109	0.52749	0.01085	0.06827	0.00096	285	407	0.70	430±7	426±6	454±23
ZJL01-5	0.0552	0.0008	0.52109	0.00853	0.06848	0.00093	248	175	1.42	426±6	427±6	420±17
ZJL01-6	0.05516	0.00067	0.57311	0.00834	0.07537	0.001	232	636	0.37	460±5	468±6	419±15
ZJL01-7	0.05511	0.00108	0.52035	0.01077	0.06849	0.00096	411	1067	0.39	425±7	427±6	417±23

表 1(续)

分析点	同位素比值						Th (ppm)	U (ppm)	Th/U	表面年龄(Ma)		
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ				$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
ZJL01-8	0.05659	0.00097	0.53465	0.00997	0.06853	0.00095	101	149	0.68	435 $\pm$ 7	427 $\pm$ 6	476 $\pm$ 20
ZJL01-9	0.05526	0.0009	0.52175	0.00929	0.06849	0.00094	132	195	0.68	426 $\pm$ 6	427 $\pm$ 6	423 $\pm$ 18
ZJL01-10	0.05515	0.00085	0.51988	0.00887	0.06838	0.00093	347	470	0.74	425 $\pm$ 6	426 $\pm$ 6	418 $\pm$ 17
ZJL01-11	0.05565	0.0007	0.52414	0.00777	0.06832	0.00091	250	550	0.45	428 $\pm$ 5	426 $\pm$ 5	438 $\pm$ 15
ZJL01-12	0.05523	0.00075	0.52111	0.00818	0.06844	0.00092	1275	2034	0.63	426 $\pm$ 5	427 $\pm$ 6	422 $\pm$ 16
ZJL01-19	0.05629	0.001	0.52997	0.00998	0.06829	0.00093	323	404	0.80	432 $\pm$ 7	426 $\pm$ 6	464 $\pm$ 20
ZJL01-20	0.05721	0.00139	0.53771	0.01325	0.06817	0.001	180	188	0.96	437 $\pm$ 9	425 $\pm$ 6	500 $\pm$ 30
ZJL01-21	0.05644	0.0011	0.53379	0.01093	0.0686	0.00094	280	251	1.11	434 $\pm$ 7	428 $\pm$ 6	470 $\pm$ 23
ZJL01-22	0.05646	0.0011	0.53215	0.0108	0.06836	0.00095	210	303	0.69	433 $\pm$ 7	426 $\pm$ 6	471 $\pm$ 22
ZJL01-13	0.05524	0.00076	0.52281	0.00811	0.06864	0.0009	397	637	0.62	427 $\pm$ 5	428 $\pm$ 5	422 $\pm$ 16
ZJL01-14	0.15495	0.00183	9.29653	0.13006	0.43518	0.00571	127	140	0.90	2368 $\pm$ 13	2329 $\pm$ 26	2401 $\pm$ 11
ZJL01-15	0.05572	0.00079	0.52526	0.00833	0.06837	0.0009	302	539	0.56	429 $\pm$ 6	426 $\pm$ 5	441 $\pm$ 16
ZJL01-16	0.05613	0.00084	0.52847	0.00875	0.06829	0.00091	348	581	0.60	431 $\pm$ 6	426 $\pm$ 5	458 $\pm$ 17
ZJL01-17	0.05557	0.00079	0.52461	0.00839	0.06847	0.0009	208	615	0.34	428 $\pm$ 6	427 $\pm$ 5	435 $\pm$ 16
ZJL01-18	0.05545	0.00087	0.52266	0.00893	0.06836	0.00091	228	384	0.59	427 $\pm$ 6	426 $\pm$ 5	430 $\pm$ 18
ZJL01-25	0.05546	0.00151	0.52151	0.01424	0.0682	0.00103	128	236	0.54	426 $\pm$ 10	425 $\pm$ 6	431 $\pm$ 35

a) 1 ppm=1 $\mu\text{g/g}$

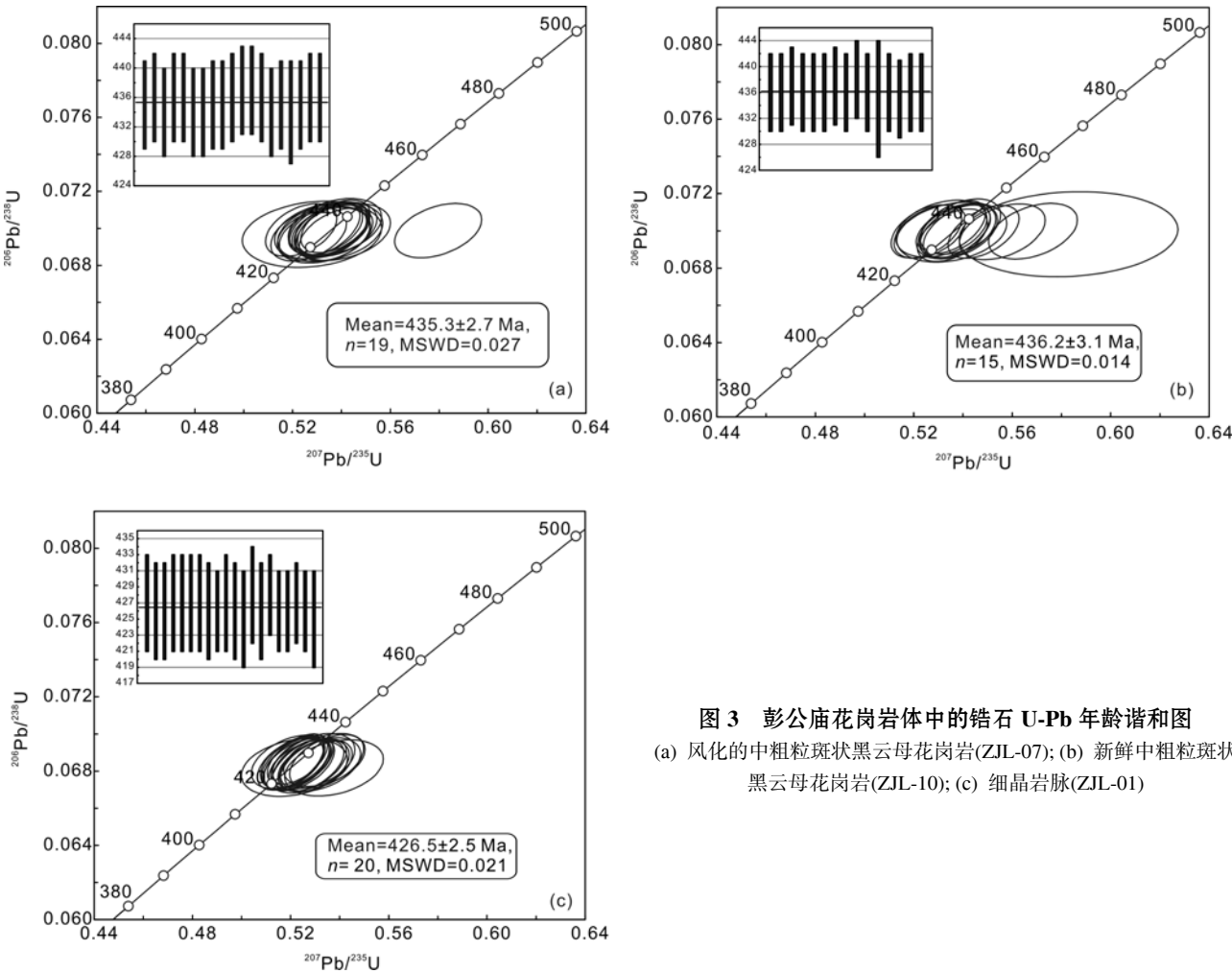


图 3 彭公庙花岗岩体中的锆石 U-Pb 年龄谱和图
(a) 风化的中粗粒斑状黑云母花岗岩(ZJL-07); (b) 新鲜中粗粒斑状黑云母花岗岩(ZJL-10); (c) 细晶岩脉(ZJL-01)

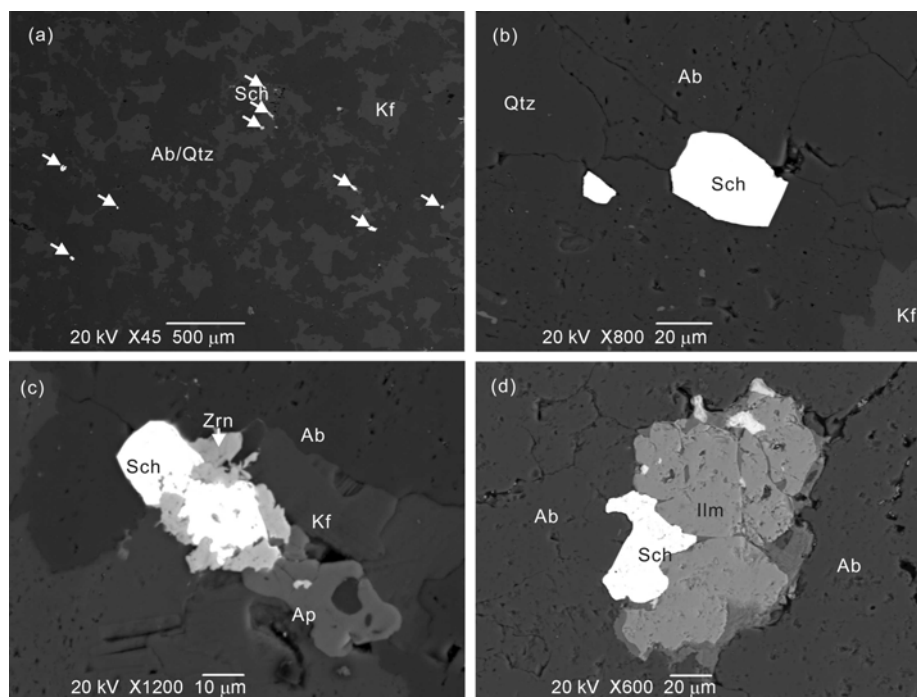


图4 彭公庙细晶岩中白钨矿的背散射电子像

(a) 白钨矿颗粒(白色, 箭头所示); (b) 包裹在钠长石中的自形白钨矿; (c) 与锆石镶嵌共生的白钨矿; (d) 与钛铁矿共生的白钨矿. Qtz, 石英; Ab, 钠长石; Kf, 钾长石; Sch, 白钨矿; Zrn, 锆石; Ap, 磷灰石; Ilm, 钛铁矿

(2) 细晶岩脉中发现的岩浆成因白钨矿说明, 在彭公庙岩体演化至晚期阶段出现了钨的高度富集。

(3) 徐克勤等人^[24]曾认为华南加里东期花岗岩与钨、锡、稀有金属矿床的形成无关, 在已证实的加里东期花岗岩岩体本身及其外围均无钨锡矿的存在。但本文所报道的初步研究结果发现南岭地区确实存在加里东期含钨花岗岩, 这对于深入研究前燕山期

花岗岩的成矿潜力以及燕山期大规模成矿作用具有较重要的指示意义。因此, 加里东期花岗岩值得进一步深入研究, 尤其是细晶岩、或细粒花岗岩将是进一步寻找加里东期含钨花岗岩和钨成矿作用的重要窗口。在下一步的研究中, 要重点弄清细晶岩脉与主体花岗岩之间的演化关系、以及与白钨矿石英脉的时空分布和成因关系。

致谢 感谢贺振宇博士在锆石制样中给予的帮助。

参考文献

- 1 Xu K, Sun N, Wang D, et al. On the origin and metallogeny of the granites in South China. In: Xu K, Tu G, eds. *Geology of Granites and Their Metallogenetic Relations*. Proceeding of International, Nanjing University. Beijing: Science Press, 1982. 1-3
- 2 李献华, 李武显, 李正祥. 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*, 2007, 52: 981-991
- 3 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用. *矿床地质*, 2005, 24: 99-107
- 4 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境. *高校地质学报*, 2008, 14: 510-526
- 5 陈毓川, 毛景文. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 南宁: 广西科学技术出版社, 1995. 1-433
- 6 马铁球, 柏道远, 邝军, 等. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. *地质通报*, 2009, 25: 415-419
- 7 付建明, 伍式崇, 徐德明, 等. 湘东锡田钨锡多金属矿区成岩成矿时代的再厘定. *华南地质与矿产*, 2009, 37: 1-7
- 8 杨锋, 李晓峰, 冯佐海, 等. 栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义. *桂林工学院学报*, 2009, 29: 21-24
- 9 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明. *地质通报*, 2006, 25: 332-335

- 10 张芳荣, 舒良树, 王德滋, 等. 华南东段加里东期花岗岩类形成构造背景分析. 地学前缘, 2009, 16: 248–260
- 11 南京大学地质学系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系研究. 科学技术研究报告(下册). 1966. 91–97
- 12 南京大学地质系湖南区测队. 湖南省永兴幅综合区域地质测量报告. 1959
- 13 冯祖钧. 湖南彭公庙岩体的岩石学及地球化学研究. 南京大学地质系花岗岩专题队阶段报告. 1959
- 14 成安仁. 湖南彭公庙花岗岩之岩石学、地球化学研究. 学士学位论文. 南京: 南京大学地质系, 1961. 1–30
- 15 李璞, 戴樟漠, 邱纯一, 等. 内蒙和南岭地区某些伟晶岩和花岗岩的钾-氩法绝对年龄测定. 地质科学, 1963, 1: 1–9
- 16 柏道远, 黄建中, 马铁球, 等. 湘东南志留纪彭公庙花岗岩体的地质地球化学特征及其构造环境. 现代地质, 2006, 20: 130–140
- 17 湖南省地质调查院. 湖南省资兴市张家垄钨矿点重点检查地质报告. 2009
- 18 Xu X S, Suzuki K, Liu L, et al. Petrogenesis and tectonic implications of Late Mesozoic granites in the NE Yangtze Block, China: Further insights from the Jiuhuashan-Qingyang complex. Geol Mag, 2010, 147: 219–232
- 19 Tsareva G M, Naumov V B, Kovalenko V I, et al. Magmatic cassiterite, wolframite, columbite, and tungstioxiolite in Volynia chamber pegmatites: Data from inclusions in topaz. Doklady Earth Sci, 1995, 331: 175–178
- 20 Wang R C, Fontan F, Chen X M, et al. Accessory minerals in the Xihuashan Y-enriched granitic complex, Southern China: A record of magmatic and hydrothermal stages of evolution. Can Mineral, 2003, 41: 727–748
- 21 曹志敏, 李佑国, 任建国, 等. 雪宝顶绿柱石-白钨矿脉状矿床富挥发份成矿流体特征及其示踪与测年. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2002, 32: 64–72
- 22 刘琰, 邓军, 李潮峰, 等. 四川雪宝顶白钨矿稀土地球化学与 Sm-Nd 同位素定年. 科学通报, 2007, 52: 1923–1929
- 23 Linnen R L, Cuney M. Granite-related rare-element deposits and experimental constraints on Ta-Nb-W-Sn-Zr-Hf mineralization. In: Linnen R L, Samson I M, eds. Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits: Geological Association of Canada. GAC Short Course Notes, 2005, 17: 45–67
- 24 徐克勤, 孙鼎, 王德滋, 等. 华南多旋回的花岗岩的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨(续). 地质学报, 1963, 43: 141–155