

云开前加里东花岗质岩石 Sm-Nd、Pb/Pb 同位素定年及其意义*

彭松柏 战明国 张业明 邱瑞照 陈富文

(中国地质科学院宜昌地质矿产研究所)

摘 要 利用 Sm-Nd、Pb/Pb 同位素测年方法对云开核部条带—眼球状花岗质岩石进行了年龄测定,首次获得 Sm-Nd 全岩 $1414 \pm 68\text{Ma}$ 和 Pb/Pb 全岩 $1388 \pm 90\text{Ma}$ 的等时线年龄,表明云开地区不仅在加里东期发生了造山运动,而且在中元古代发生了更为重要的构造—岩浆造山运动,其时代与全球性格林威尔造山旋回可以对比。

关键词 云开地区 前加里东花岗质岩石 Sm-Nd、Pb/Pb 同位素定年

于广东信宜、高州、思贺、合水、白石和广西六麻、天堂山一带的云开隆起区,广泛出露一套片麻状—条带状—眼球状花岗质岩石,众学者对其成因和时代一直存在不同的认识^[1-3]。但目前普遍认为该花岗岩属岩浆成因,尤其是条带—眼球状花岗质岩石更具典型的岩浆成因特征,形成时代认为是加里东期^[3-6]。笔者通过对这套条带—眼球状花岗质岩石的 Sm-Nd、Pb/Pb 同位素年代学研究提出,其成岩时代为中元古代,加里东期同位素年龄实际上反映了后期强烈流变剪切部分熔融构造热事件的时间。

1 地质背景

云开隆起的范围东以吴川—四会断裂带为界,西以博白—岑溪断裂带为界,北以罗定—广宁断裂带为界,呈 NE—SW 向展布。出露的岩石根据岩石组合、变质变形特征,可分为两套岩石建造:上部主要为一套绿片岩相,局部为绿帘角闪岩相的变质沉积—火山岩建造,主要分布于隆起的周缘称为云开群;下部岩石建造由中高级黑云变粒岩、石榴黑云二长片麻岩、斜长角闪岩和片麻—条带—眼球(球斑)状花岗质岩石(含紫苏花岗岩)组成,广泛出露于云开隆起核部,称为信宜—高州杂岩。对云开隆起核部普遍发育的条带—眼球状花岗质岩石(黑云二长花岗岩—花岗闪长岩—英云闪长岩岩石组合),过去一般认为是断裂变质混合岩、混合花岗岩。近年来,随着广东、广西 1:5 万区域地质填图工作的展开^{①②}和研究的深入,发现这套变形变质花岗质岩石具有典型的花岗岩岩石化学成分和结构特征^[3,5],主体应为岩浆侵入花岗岩(图 1)。根据岩石成分和结构构造特征,又可分为片麻—条带—眼球(球斑)状黑云二长花岗岩、花岗闪长岩、英云闪长岩,其中钾长石和斜长石斑晶多呈眼球状、球

* 国家自然科学基金(青年)项目(编号 49502036)和地矿部“九五”重点科技攻关项目(编号 95—02—00)

第一作者 彭松柏,男,1963 年生,副研究员,现从事构造地质及花岗岩动力学研究,邮编 443003

① 广东区调队,1:5 万信宜幅、怀乡幅区域地质调查报告(1995),1:5 万合水幅、思贺幅区域地质调查报告(1998)

② 广西区域地质调查研究院,1:5 万黎村幅、杨梅幅区域地质调查报告(1995)

状,少数自形,直径一般为 3~6cm。有些斑晶具明显的同心环带构造,被包裹的黑云母、磁铁矿等暗色矿物也呈同心环带分布,包裹物中有时可见有少量自形斜长石,而眼球(球斑)状斑晶外围则为流变剪切部分熔融形成的中细粒石英、长石、绢云母等矿物,这些特征明显有别于混合岩化作用形成的交代斑晶,应为岩浆结晶的产物。而后期遭受近水平的流变剪切部分熔融动力变形变质,使岩石普遍形成片麻-条带-眼球状构造,同时也使岩体侵入边界与片麻理(面理)产状一致^[7]。而且以高州—大田顶一带为中心向 NW 形成眼球状-条带状-片麻状花岗质岩石有序分布的岩石组合,面理产状平缓,倾角一般小于 35°,总体向 NE 倾斜,呈面状展布。



图 1 云开隆起区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Yunkai uplifted area

前人对这套条带-眼球状花岗质岩石(含紫苏花岗岩)测定的 Rb-Sr 等时线和锆石 U-Pb 和谐曲线年龄(下交点)数据,大多集中在 400~500Ma 之间,因而认为其成岩时代为加里东期^[3~6],但锆石和谐曲线(上交点)年龄一般在 900~1400Ma 之间,特别是庄文明等(1995)用结晶锆石蒸发法测得 Pb/Pb 年龄为 800~1300Ma 数据的报道^①,为笔者重新认识这套经历强烈流变剪切变形花岗岩的形成时代提供了重要信息。为此,我们对这套变形变质花岗岩样品,采用受后期构造变质热事件影响较小的 Sm-Nd 和 Pb/Pb 全岩同位素测年方法,进行了同位素年代学研究,为探讨云开隆起花岗质岩石形成改造的热动力演化历史提供确切的年代学依据。

2 分析方法和结果

① 广东区调队,1:5 万信宜幅、怀乡幅区域地质调查报告(1995);1:5 万合水幅、思贺幅区域地质调查报告(1998)

2.1 样品地质特征

分析的 Sm-Nd、Pb/Pb 全岩同位素样品采自信宜-高州杂岩体的东镇、长坡和云炉等地(见图 1),按目前广东 1:5 万区调单元划分,应为同一成因系列的中新元古代的坡尾、东振和山心单元,但之间均为渐变过渡接触关系,属同一花岗岩浆系列。样品为条带-眼球状花岗岩,均遭受强烈流变剪切变形,形成典型的条带-眼球状构造,岩石的矿物组成,主要为斜长石、钾长石、石英及黑云母,副矿物有磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、锆石等,眼球体主要由钾长、斜长石单晶和聚晶组成。岩石显示一致的轻稀土富集,重稀土亏损的 V 字型曲线,Sm-Nd 介于壳幔特征值之间,具同源壳幔混合特征。

2.2 分析方法、结果

Sm、Nd 和 Pb 的分离采用离子交换技术,同位素稀释质谱测定¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 含量和¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 比值在 MAT-261 可调多收型质谱仪上直接测定。分析过程中采用 JMC(Nd₂O₃) 监控仪器工作状态,用 Sm-Nd、Pb/Pb 国家一级标准物质 GBWO4419 和 NBS981 监控分析流程,上述标准物质测定值分别为 GBWO4419: Sm/10⁻⁶ = 3.03 ± 0.04, Nd/10⁻⁶ = 10.1 ± 0.03, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512725 ± 15; NBS981: (²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb)₀ = 9.307, (²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb)₀ = 10.294, (²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb)₀ = 29.476。全部化学操作均在净化实验室内进行,样品测定的 Sm-Nd 和 Pb/Pb 全流程空白分别为 2 × 10⁻¹² ~ 2 × 10⁻¹¹g 和 2 × 10⁻⁹g。分析结果列表 1 和表 2。本文采用 ISOPLOT 程序(Kenneth R. Ludwig, 1995) λ(¹⁴⁷Sm) = 6.54 × 10⁻¹²a⁻¹, λ(²³⁸U) = 1.55125 × 10⁻¹⁰a⁻¹, λ(²³⁵U) = 9.8485 × 10⁻¹⁰a⁻¹ 年龄计算,设定误差为: ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 0.5%, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.003%, ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 0.1%, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 0.1%, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb = 0.1%。年龄计算获得条带-眼球状花岗岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄 1414 ± 68Ma(MSWD = 1.64), *I*_{Nd} = 0.510900 ± 0.000058(图 2), ε_{Nd}(*t*) = 2.1(平均),其 Nd 模式年龄 *T*_{DM} 为 1844Ma(平均); Pb/Pb 等时线年龄 1388 ± 90Ma(MSWD = 8.2)(图 3)。

表 1 条带-眼球状花岗岩质岩石的 Sm-Nd 同位素数据

Table 1 Sm-Nd isotopic data for the banded-augen granitic rocks

序号	样号	岩性	ε(Sm) 10 ⁻⁶	ε(Nd) 10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd ± 1σ	<i>T</i> _{DM} (Ma ± 1σ)	ε _{Nd} (<i>t</i>)	<i>t</i> /Ma
1	D54-1	花岗岩	8.691	45.71	0.1150	0.511992 ± 0.000014	1784	2.2	1414 ± 68
2	D23-5	花岗岩	7.611	38.68	0.1190	0.512016 ± 0.000010	1820	1.9	
3	D41-2	花岗岩	7.133	35.91	0.1202	0.512034 ± 0.000015	1814	2.0	
4	D36-5	花岗岩	5.632	26.46	0.1287	0.512128 ± 0.000015	1828	2.3	
5	D11-5	花岗岩	4.497	18.92	0.1438	0.512247 ± 0.000013	1963	1.9	
6	D57-1	花岗岩	4.172	17.35	0.1455	0.512278 ± 0.000010	1943	2.2	

注 (1) ε_{Nd}(*t*) = [(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_样 / (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR(*t*)} - 1] × 10⁴, 其中(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)₀ 为初始值 (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR(*t*)} = 0.512638 - 0.1967e^{λ*t*} - 1, λ = 6.45 × 10⁻¹²a⁻¹
(2) *T*_{DM} = 1/λ ln { [(¹⁴³Sm/¹⁴⁴Nd)_样 - 0.51315] / [(¹⁴³Sm/¹⁴⁴Nd)₀ - 0.2137 + 1] }

表 2 条带-眼球状花岗质岩石的 Pb/Pb 同位素数据

Table 2 Pb/Pb isotopic data for the banded-augen granitic rocks

序号	样号	岩性	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	φ 值	μ 值	Th/U	t/Ma
1	D56-1	花岗岩	18.450±0.002	15.622±0.002	38.692±0.003	0.587	9.58	3.83	1388±80
2	D58-4	花岗岩	18.515±0.001	15.668±0.001	38.736±0.001	0.584	9.57	3.82	
3	D42-1	花岗岩	18.770±0.001	15.690±0.001	39.184±0.002	0.571	9.62	3.87	
4	D36-5	花岗岩	18.856±0.001	15.698±0.001	39.183±0.004	0.565	9.59	3.83	
5	D58-1	花岗岩	18.932±0.002	15.730±0.006	39.366±0.016	0.548	9.64	3.72	
6	D57-1	花岗岩	18.958±0.004	15.708±0.005	38.670±0.016	0.561	9.62	3.58	
7	D21-3	花岗岩	19.231±0.006	15.730±0.006	39.366±0.016	0.548	9.64	3.72	

图 2 条带-眼球状花岗质岩石 Sm-Nd 等时线

Fig. 2 The isochron of Sm-Nd isotopic dating for granitic rocks

图 3 条带-眼球状花岗质岩石 Pb/Pb 等时线

Fig. 3 The isochron of Pb/Pb isotopic dating for granitic rocks

3 地质意义讨论

(1)Sm-Nd 同位素定年体系,据 Black L. R. ,White 研究^[8,9],即使在高角闪岩相到麻粒岩相变质作用过程中,基本上不发生变化,因而其 Sm-Nd 等时线年龄能反映原岩形成年龄。尽管所研究的花岗质岩石普遍遭受后期流变变形变质,并发生过强烈的流体-岩石的交换作用,但笔者的研究表明,条带-眼球状构造形成的石英-黑云母 O 同位素再平衡温度为 370~478℃,变质程度只相当于绿片岩-低角闪岩相,基本上未改变 Sm-Nd 同位素体系,因此,其 Sm-Nd 等时线年龄代表壳幔物质重熔 Sm-Nd 同位素体系平衡形成壳幔混合花岗岩的时间,即花岗(质)岩石的侵入时间。这一形成时间与海南岛元古宙花岗岩形成时间可以对比^[10,11]。花岗质岩石的 Pb/Pb 等时线年龄与 Sm-Nd 等时线年龄基本一致,等时线年龄具有相同明确的地质意义,均反映了花岗质岩石形成年龄^[9,12],此外还进一步肯定了云开条带-眼球状花岗岩侵入冷却封闭的时代为中元古代(1388~1414Ma),而 Pb/Pb 等时线年龄计算的误差和 MSWD 值偏大,它可能反映了岩石遭受后期变形变质及岩石-流体交换反应使 Pb/Pb 同位素体系发生了部分开放和重调。

(2)花岗(质)岩石的 ε_{Nd}(t) 为 1.9~2.3,表明其源岩可能分别来自轻稀土亏损的地幔物质(平均 ε_{Nd} 数据^[6])和轻稀土富集的古大陆壳物质(平均 ε_{Nd} = -12)不同比例的混合。模

式年龄 $T_{DM} = 1784 \sim 1963 \text{ Ma}$ 与云开地区 $1900 \text{ Ma} \pm$ 发生的基性超基性岩浆活动和地幔分异的重要热事件时代^①相吻合,反映了本区以及华南地区古元古代—中元古代期间重要的陆壳裂解和地幔分异的构造热事件,进而推测本区可能存在古元古代—太古宙的古陆壳基底。

(3)条带—眼球(球斑)状花岗岩与紫苏花岗岩及麻粒岩相变质作用具有密切伴生的关系,并且都经历了加里东期流变剪切部分熔融构造热事件,甚至经历了印支期、燕山期构造热事件改造。紫苏花岗岩中麻粒岩包体获得的 $> 950 \text{ Ma}$ 锆石 $\text{U}-\text{Pb}$ 年龄^[13,14]、锆石 Pb/Pb 分层蒸发法提供的 $800 \sim 1300 \text{ Ma}$ 年龄信息表明,麻粒岩相变质—紫苏花岗岩—眼球(球斑)状花岗岩应为早于加里东期地质作用过程的产物。特别是考虑到加里东期构造热事件的强烈改造以及颗粒结晶锆石是变质成因还是岩浆成因并未区分,麻粒岩相的变质年龄 950 Ma 和锆石 Pb/Pb $800 \sim 1300 \text{ Ma}$ 年龄,实际上仍是混合年龄。因此锆石 Pb/Pb 1300 Ma 年龄应代表岩浆结晶年龄,而麻粒岩相变质年龄应大于 950 Ma ,并且麻粒岩相变质—紫苏花岗岩—眼球状花岗岩很可能为中元古代同一地质作用过程的产物。条带—眼球状花岗岩与紫苏花岗岩 $\text{Sm}-\text{Nd}$ 模式年龄的一致性,也显示出它们具有同源演化岩浆岩的特征,而这套花岗质岩石具有的大陆造山带火山岛弧岩石地球化学特征(详细资料另文发表)则表明,云开造山带的演化历史可追溯到古元古代—中元古代的裂解和中元古代晚期的俯冲—碰撞造山,造山作用时代可与全球性的中元古代末格林威尔造山运动时代相比^[15],成为罗迪尼亚泛大陆形成在华南的重要弧-陆碰撞拼接带。

4 结 论

(1)云开隆起核部片麻—条带—眼球状花岗质岩石的主体是中元古代火山岛弧花岗岩,而不是加里东期造山花岗岩,其形成冷却封闭的 $\text{Sm}-\text{Nd}$ 等时线年龄为 $1414 \pm 68 \text{ Ma}$, Pb/Pb 等时线年龄为 $1388 \pm 90 \text{ Ma}$;

(2)云开隆起核部片麻—条带—眼球状花岗(质)岩石形成时代的确定,暗示云开地区在中元古代是全球罗迪尼亚泛大陆形成在华南的重要拼接部位。

(3)加里东期造山运动在云开核部地区主要表现为流变剪切部分熔融构造热动力变形变质作用。

参 考 文 献

- 1 莫柱孙,叶伯丹,潘维组等.南岭花岗岩地质学.北京:地质出版社,1980.
- 2 陆人雄,叶尔康,麦小玲.阳春大王山交代花岗岩成因特征.中山大学学报(自然科学版),1984(3):107~111.
- 3 林庆华,李立源,梁明国.粤西合水、思贺地区花岗质岩石的成因.中国区域地质,1990(20):173~180.
- 4 叶伯丹.两广云开地区同位素地质年龄数据及其地质意义.广东地质,1989(3):39~56.
- 5 陈 斌,庄育勋.粤西云炉紫苏花岗岩及其麻粒岩包体的主要特征和成因讨论.岩石学报,1994(2):139~148.
- 6 周汉文,游振东,钟增球,韩郁菁等.云开隆起钾长球斑片麻状黑云母花岗岩锆石特征研究.地球科学(中国地质大学学报),1994(4):427~432.

7 俞受均,夏 浑,邓铁股等.海南岛抱板地区中元古代花岗岩副矿物锆石的特征及 U-Pb 同位素年龄测定.地球化学,1992 (3) 213~219.

8 Whitehouse M.J. Granulite facies Nd-isotopic homogenization in the Lewisian complex of northwest Scotland. Nature,1988,331:705~707.

9 Black L.R. Isotopic resetting of U-Pb zircon and Rb-Sr and Sm-Nd whole-rock system in Enderby land, Antarctica: Implications for the interpretation of isotopic data from polymetamorphic and multiply deformed terrains. Precam. Res.,1988,38:355~365.

10 Kenneth R.L. A plotting and regression program for radiogenic isotope data(Version 2.82). United States Geological Survey,1~45.

11 梁新权.海南岛前寒武纪花岗岩绿岩系 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义.岩石学报,1995,11(1):72~76.

12 Taylor P.N.,Kramers J.D.,Moorbath S.,Wilson J.F.,Orpen J.L. and Martin A. Pb/Pb,Sm-Nd and Rb-Sr geochronology in the Archean Craton of Zimbabwe. Chemical Geology,1991,87:175~196.

13 周汉文,游振东,钟增球,韩郁菁等.云开隆起低压麻粒岩相变质作用时代的重要发现.地球科学(中国地质大学学报),1996(3) 23~26.

14 周汉文,游振东,钟增球,韩郁菁等.粤西云开前寒武纪基底麻粒岩、紫苏花岗岩放射性元素分布特征与岩石成因讨论.地球科学(中国地质大学学报),1996(5) 529~534.

15 朱炳泉等著.地球科学中同位素体系理论及应用.北京:科学出版社,1998.

Sm-Nd and Pb/Pb Isotopic Dating of Pre-Caledonian
Granitic Rocks in Yunkai Area and its Significance

Peng Songbai Zhan Mingguo Zhang Yeming Qiu Ruizhao Chen Fuwen ,
(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources ,CAGS)

Abstract The whole rock banded-augen granitic rock samples from Yankai uplifted area are dated Sm-Nd and Pb/Pb isotopically $1414 \pm 68\text{Ma}$ and $1388 \pm 90\text{Ma}$ respectively. These data indicate that the orogeny took place not only in Caledonian but also in Late Mesoproterozoic, which seems more important and is correlatable with global Grenville orogeny.

Key words Yunkai area Pre-Caledonian granitic rock Sm-Nd and Pb/Pb isotopic dating