Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2016, 6(3), 247-254
Published Online June 2016 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
http://dx.doi.org/10.12677/ag.2016.63026

Hans汉斯

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Houyan Pluton in Xinfeng, and Its Geological Significance

Jianhua Huang[1], Haihua Huang[1], Hongwei Li[1], Xiang Yao[2]

[1]Guangdong Geological Survey, Guangzhou Guangdong
[2]School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing
Email: huangjianhua1002@126.com

Received: Jun. 7th, 2016; accepted: Jun. 27th, 2016; published: Jun. 30th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

Abstract

Located at the northeast of Fogang composite pluton, Houyan pluton, which is mainly composed of intermediate-fine grained biotite monzogranites and granodiorites, generally presents a north-south directional distribution and covers an area of 30 km². In this paper, the LA-ICP-MS zircon U-Pb age of granodiorites of the Houyan pluton is (155.5 ± 4.2) Ma (MSWD = 2.0). The result shows that the emplacement age of Houyan pluton belonged to the middle stage of Late Jurassic, and it was the product of the third magma activity of Yanshan. As its age is the same as the main granite of Fogang composite pluton, they were in the same period of tectono-magmatic activity, and Houyan pluton was crystallized from magmas of main granite of Fogang composite pluton. As the crystallization differentiation of magmas captured the remained stratums, it caused differences in rock composition, and formed the marginal facies which are composed of granodiorites. Fogang composite pluton was formed in the process of subduction of the Pacific plate under Eurasian plate. The geochemical characteristics of its main granite indicate that its source mainly derived from the crust, which belongs to crustal transformation type (S-type) granite.

Keywords

Houyan Pluton, Granite, LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating, Geological Significance

文章引用: 黄建桦, 黄海华, 李宏卫, 姚翔. 新丰猴岩岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地球科学前沿, 2016, 6(3): 247-254. http://dx.doi.org/10.12677/ag.2016.63026

新丰猴岩岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及地质意义

黄建桦[1]，黄海华[1]，李宏卫[1]，姚　翔[2]

[1]广东省地质调查院，广东 广州
[2]中国地质大学(北京)地球科学与资源学院，北京
Email: huangjianhua1002@126.com

收稿日期：2016年6月7日；录用日期：2016年6月27日；发布日期：2016年6月30日

摘　要

猴岩岩体位于佛冈复式岩体北东缘，总体呈南北向展布，出露面积约30 km²，岩性多为中细粒黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩。本文对猴岩岩体花岗闪长岩样品进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年，获得的同位素年龄为(155.5 ± 4.2) Ma (MSWD = 2.0)，表明猴岩岩体侵位时代为晚侏罗世中期，是燕山第三幕岩浆活动之产物。通过对比，猴岩岩体与佛冈主体花岗岩的侵位时代相一致，表明二者形成于同期构造－岩浆活动，猴岩岩体是佛冈主体花岗岩分异结晶之产物。猴岩岩体的花岗闪长岩是岩浆分异结晶时捕掳地层残留体，导致岩石成分产生差异而形成，为岩体的边缘相。佛冈复式岩体形成于古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的构造背景下，其主体花岗岩的地球化学特征表明其物质主要来源于地壳，属陆壳改造型(即S型)花岗岩。

关键词

猴岩岩体，花岗岩，LA-ICP-MS锆石U-Pb测年，地质意义

1. 引言

猴岩岩体位于广东省新丰县梅坑镇以西 10 km，是佛冈复式岩体北东缘的一部分。原岭南地质队十分队将该期侵入岩归入燕山期岩浆活动之早期侵入岩[1]。邓中林[1]等认为该岩体主体岩性为(角闪石黑云母)花岗闪长岩，并将其时代厘定为晚三叠世，为印支期岩浆活动之产物。“广东 1:5 万周陂公社、隆街公社、新丰县、马头四幅区域地质矿产调查”项目组在野外调查过程中，发现猴岩岩体并无大面积的花岗闪长岩出露，其岩性仍以二长花岗岩为主，仅局部分布少量细粒花岗闪长岩，且花岗闪长岩常分布于岩体与地层接触带附近。野外亦未见晚侏罗世花岗岩侵入于猴岩岩体的直接证据。这可以解释为：一是印支期的猴岩岩体主体岩性仍为花岗闪长岩，但分布范围较小；二是猴岩岩体岩性以二长花岗岩为主，局部岩浆分异结晶形成花岗闪长岩，其时代是否为印支期值得进一步研究。为此，本文拟通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年，从而确定该岩体侵位结晶时代，并结合野外工作与前人已发表的数据来探讨猴岩岩体的成岩地质意义。

2. 地质背景

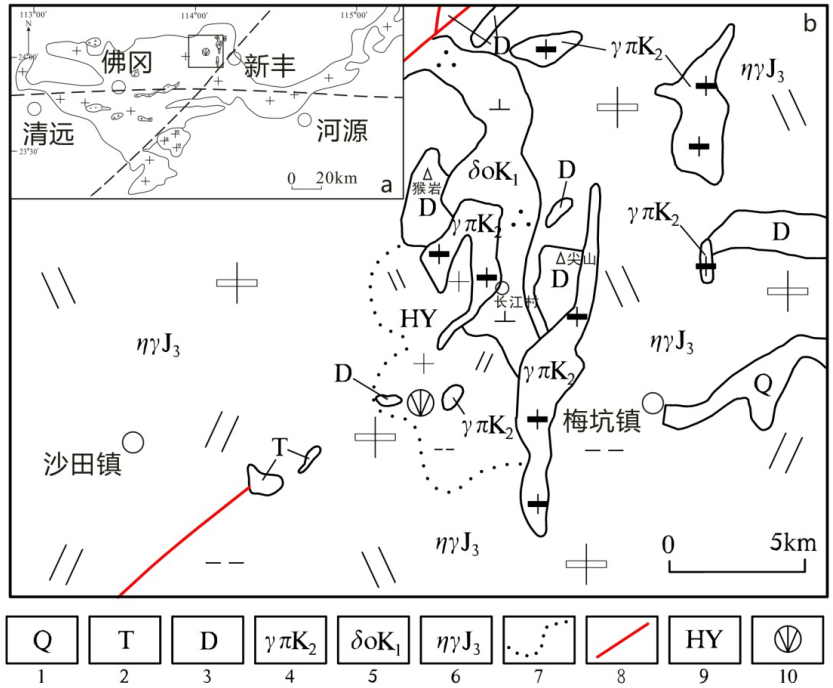
佛冈复式岩体是南岭地区出露规模最大的复式岩基，其出露面积为 5000~6000 km²，受北东向恩平－新丰断裂和东西向佛冈－丰良隐伏断裂的联合控制侵位，呈近东西向展布(图 1(a)) [2]。前人对佛冈岩体

的研究表明，其花岗岩主体岩性为晚侏罗世中粗粒斑状黑云母花岗岩、中粒黑云母二长花岗岩，局部为含角闪石的花岗闪长岩及中细粒黑云母二长花岗岩，它们占佛冈复式岩基总面积的 90%以上，少量中基性的闪长岩－角闪辉长岩与花岗岩主体在空间上伴生，构成一个钙碱性系列[3]-[5]。岩体中普遍含细粒、暗色、有时为斑状的石英闪长质－花岗闪长质岩石包体[3]。

猴岩岩体位于佛冈复式岩体北东缘，整体上呈南北向展布，长约 8 km，宽约 4 km，出露面积约 30 km^2，侵入于早期的泥盆纪帽子峰组地层之内(图 1(b))，岩石主要以中细粒黑云母二长花岗岩为主，而岩体与地层接触带附近岩石色率较高，可达花岗闪长岩。黑云母二长花岗岩呈灰白色，局部暗色矿物含量较高而呈灰黑色，偶见自形的钾长石巨晶，似斑状结构，局部少斑或无斑，块状构造。岩石后期经历了强烈的钾化、钠化等蚀变，蚀变后岩石普遍呈灰白色、肉红色，导致二长花岗岩与花岗闪长岩难以识别。与佛冈主体的晚侏罗世粗中粒黑云母二长花岗岩相比，猴岩岩体总体上粒度较细，局部暗色矿物含量较高。野外调查发现，花岗闪长岩通常分布于岩体与地层接触带附近，猴岩岩体往东与佛冈主体粗中粒二长花岗岩粒度上呈渐变式接触，为同期岩体不同岩相之产物，与佛冈主体花岗岩同属燕山期花岗岩。

3. 样品及其特征

为确定猴岩岩体花岗闪长岩成因及其侵位结晶时代，对猴岩岩体与地层接触带附近岩石进行采样，样品取自长岭村 X352 县道公路旁(图 1(b))，样品编号为 DY008 (GPS: N114˚00'23", E24˚00'29")，所采集样品新鲜无蚀变，样品岩性为细粒花岗闪长岩。岩石标本呈灰黑色，具花岗结构，块状构造。岩石矿物组成主要为斜长石、钾长石、石英和暗色矿物，其中斜长石呈灰白色，长条状，含量约 40%；钾长石呈肉红色，长板状，含量约 25%；石英呈半透明色，半自形粒状，油脂光泽，含量约 25%；暗色矿物主要为黑云母及角闪石，含量约 10%。



1-第四系；2-三叠系；3-泥盆系；4-晚白垩世花岗斑岩；5-早白垩世石英闪长岩；6-晚侏罗世粗中粒黑云母二长花岗岩；7-岩相界线；8-断层；9-猴岩岩体；10-采样位置。

Figure 1. Simplified geological map of Fogang pluton (a) and Houyan pluton (b) [1] [5]
图 1. 佛冈岩体(a)及猴岩岩体(b)地质简图[1] [5]

4. 样品分析方法及测试结果

样品的锆石挑选在河北省区域地质矿产调查研究所进行，锆石阴极发光图像(CL)则由北京锆年领航科技有限公司完成。锆石 U-Pb 定年在合肥工业大学资源与环境工程学院开展，由 ICP-MS 和激光剥蚀系统联机完成。使用的 ICP-MS 为 Agilent 7500a，激光剥蚀系统为 GeoLasPro。样品分析过程中，选用的激光剥蚀的斑束直径为 32 μm，频率为 6 Hz，单点剥蚀作为采样方式，并以 He 作为剥蚀物质的载气。采用标准锆石 91500 作为外标进行同位素分馏校正，每 5 个样品点之间插入分析 2 次 91500。数据分析处理采用 ICPMS Data Cal 软件[6]-[8]。利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行校正与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移。采用 Wiedenbeck 等人(1995) [9]推荐的标准锆石 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值。样品分析过程中，作为监控样的标准锆石 Plesovice 测定的 $^{206}Pb/^{238}U$ 推荐年龄值为(337.13 ± 0.37) Ma (2σ) [8]。锆石样品 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3 [9]完成。锆石 U-Th-Pb 同位素比值、年龄数据及锆石微量元素的单次测量的标准偏差采用 1σ，加权平均年龄采用 2σ。使用 ComPbCorr#3.18 程序[10]-[12]进行普通 Pb 校正。

佛冈岩体花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结果见表 1。锆石 CL 图像及打点位置见图 2。锆石晶形良好，多呈自形长柱状，少数呈混圆状，锆石内震荡生长环带发育，测定的锆石 Th/U 比值大部分集中在 0.2 和 0.5 之间，锆石多呈自形柱状，棱角状-次棱角状，具有岩浆锆石的特征，为岩浆结晶过程中所形成，故主群锆石 U-Pb 年龄即代表岩浆的侵位年龄。对样品 DY008 选取了 20 颗锆石进行 U-Pb 同位素测年，共 20 个分析点。其中 2 个分析点(点 9，12)谐和度 < 90%，在计算年龄时被剔除。4 个分析点(点 17，18，19，20)具有核幔结构，测点位置位于锆石核部。因所有年龄均<1000 Ma，故采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值更为准确。虽然大部分年龄均十分贴近谐和曲线，仅少量位于谐和曲线下方，表明测试过程中 U-Pb 体系基本是封闭的，基本没有发生 Pb 的丢失，说明本次测试数据真实可靠。其中，点 19，点 20 年龄均大于 400 Ma，代表的是加里东期的岩浆活动。点 16 因锆石边部较窄，且激光剥蚀斑束直径较大(32 μm)，测点年龄亦可能代表核部年龄。三个测点(点 16，17，18)加权平均年龄值为 205.7 Ma (MSWD = 1.03)，代表的是印支期岩浆活动的产物，而佛冈复式岩体印支期岩体多分布于该岩体的西部[4]，该年龄表明本区亦存在印支期岩浆活动，结合野外观察，该期岩浆活动总体较弱，多被后期的燕山期花岗岩破坏和改造，以残留体或捕掳体的形式残存于燕山期花岗岩内。故在锆石中仅在核部可获得印支期年龄。其余 13 个分析点的年龄在 150~170 Ma 之间(图 3)，用 Isoplot 软件求得加权平均年龄为(155.5 ± 4.2) Ma (MSWD = 2.0) (图 3)，该年龄即代表猴岩岩体花岗闪长岩的结晶年龄。

5. 讨论与结论

对佛冈岩体主体花岗岩，前人做了大量测年工作。陈小明等[3]采用全岩－矿物 Rb-Sr 等时线法测得其年龄为(167.5 ± 7.5) Ma。包志伟等[13]采用全岩 Rb-Sr 法获得的年龄则为(158 ± 17) Ma，Li [14]采用锆石 U-Pb 法获得佛冈岩体主体花岗岩的年龄为(161 ± 4) Ma。因此，佛冈岩体主体花岗岩的形成年龄为 160 Ma 左右。本次测得猴岩岩体花岗闪长岩结晶年龄为(155.5 ± 4.2) Ma，表明猴岩岩体侵位时代为晚侏罗世中期，是燕山第三幕岩浆活动之产物。其与佛冈岩体主体花岗岩年龄近一致，属同期构造－岩浆活动事件，是佛冈岩体主体花岗岩岩浆分离结晶作用的结果。

本区花岗闪长岩通常分布于岩体与地层接触带附近，其外围猴岩岩体岩性仍以细粒黑云母二长花岗岩为主，且猴岩岩体与佛冈岩体主体粗中粒二长花岗岩属同期构造－岩浆活动事件，因此粗中粒二长花岗岩、细粒黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩皆呈相变接触。花岗闪长岩的形成，是岩浆分异结晶时捕掳地层残留体，导致色率增高，从而造成岩石成分的差异，为岩体的边缘相，而细粒黑云母二长花岗岩则为花岗闪长岩与粗中粒二长花岗岩的过渡相(图 4)。从所获得的锆石核部的年龄来看，其时代多以印支期为

Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb results of fine-grain granodiorite from Houyan pluton
表 1. 猴岩岩体细粒花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS 分析结果

序号	^{232}Th	^{238}U	$^{238}U/^{232}Th$	$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		Concordance
	(10^{-6})	(10^{-6})	Ratio	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma	
DY008-01	341	1346	0.2719	0.1717	0.0071	0.0245	0.0007	0.0074	0.0003	161	6.1	156	4.5	150	5.5	96%
DY008-02	352	2824	0.1331	0.2037	0.0084	0.0283	0.0009	0.0090	0.0004	188	7.1	180	5.6	180	7.4	95%
DY008-03	85.0	1573	0.0558	0.1696	0.0065	0.0240	0.0007	0.0077	0.0003	159	5.6	153	4.2	156	6.5	95%
DY008-04	1034	1180	0.8898	0.1775	0.0070	0.0240	0.0007	0.0076	0.0002	166	6.1	153	4.5	153	5.0	91%
DY008-05	425	2093	0.1882	0.1725	0.0075	0.0238	0.0007	0.0081	0.0003	162	6.5	152	4.1	163	5.9	93%
DY008-06	201	753	0.2733	0.1791	0.0074	0.0246	0.0007	0.0081	0.0003	167	6.3	157	4.3	163	6.3	93%
DY008-07	1386	9522	0.0850	0.1980	0.0067	0.0261	0.0007	0.0105	0.0004	183	5.7	166	4.5	210	8.3	90%
DY008-08	612	1371	0.4778	0.2155	0.0103	0.0282	0.0010	0.0097	0.0004	198	8.6	180	6.4	196	8.4	90%
DY008-09	1629	2735	0.6209	0.1822	0.0067	0.0227	0.0006	0.0073	0.0002	170	5.7	145	3.9	148	5.0	84%
DY008-10	768	1829	0.4533	0.1983	0.0092	0.0267	0.0008	0.0085	0.0003	184	7.8	170	5.1	171	6.6	92%
DY008-11	1365	2163	0.6593	0.1683	0.0065	0.0235	0.0007	0.0073	0.0003	158	5.7	150	4.1	146	5.1	94%
DY008-12	180	397	0.4677	0.3366	0.0148	0.0405	0.0012	0.0133	0.0005	295	11.2	256	7.2	266	9.7	86%
DY008-13	1827	2651	0.7193	0.1774	0.0064	0.0240	0.0007	0.0073	0.0002	166	5.5	153	4.2	148	5.0	92%
DY008-14	1896	4239	0.4510	0.1752	0.0065	0.0250	0.0007	0.0073	0.0003	164	5.6	159	4.5	146	5.2	96%
DY008-15	807	3697	0.2816	0.1703	0.0063	0.0235	0.0007	0.0064	0.0002	160	5.4	150	4.2	130	4.7	93%
DY008-16	286	980	0.3000	0.2444	0.0098	0.0331	0.0010	0.0107	0.0004	222	8.0	210	6.1	215	8.4	94%
DY008-17	51.0	204	0.1521	0.2414	0.0143	0.0325	0.0012	0.0108	0.0007	220	11.7	206	7.7	217	14.6	93%
DY008-18	37.5	451	0.0691	0.2323	0.0179	0.0305	0.0016	0.0119	0.0011	212	14.7	194	9.8	239	21.2	90%
DY008-19	47.9	181	0.2669	0.8350	0.0354	0.0951	0.0028	0.0318	0.0013	616	19.6	585	16.3	633	24.6	94%
DY008-20	195	360	0.5177	0.4913	0.0219	0.0635	0.0018	0.0201	0.0007	406	14.9	397	10.8	402	14.6	97%

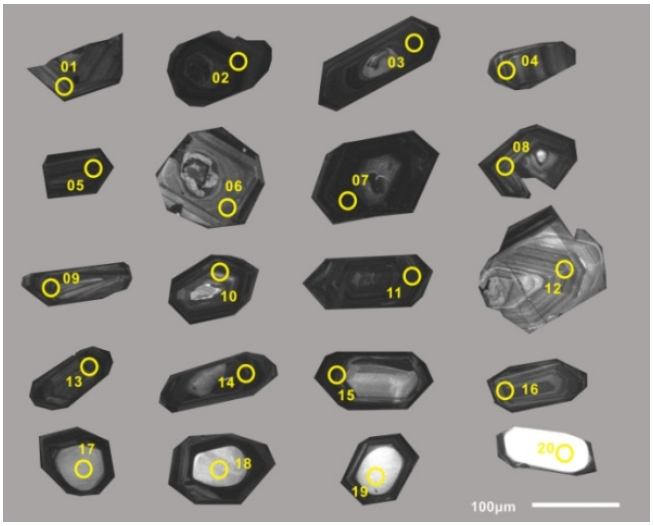


Figure 2. CL images with dots position for zircons from Houyan pluton
图 2. 猴岩岩体锆石 CL 图像及打点位置

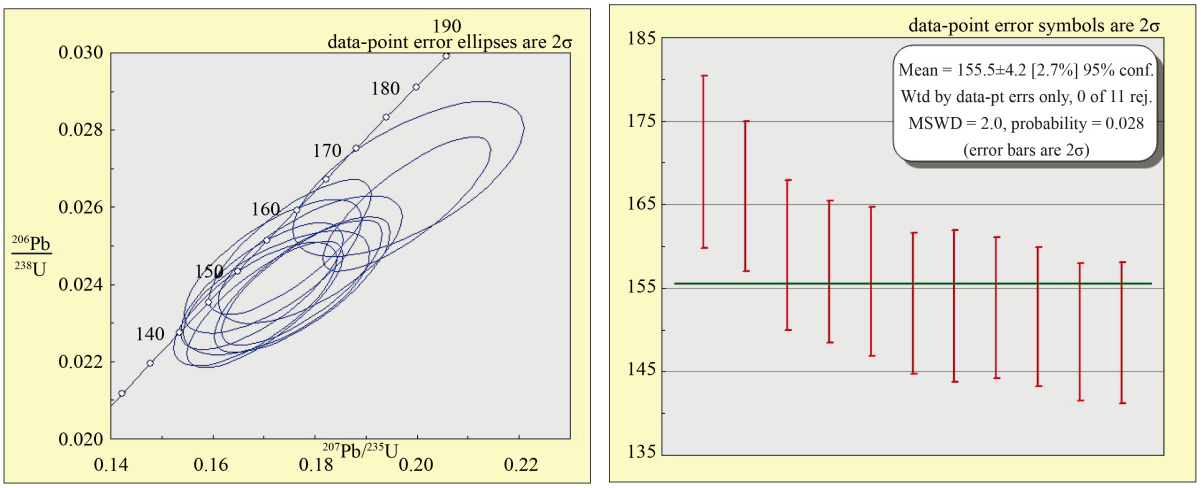
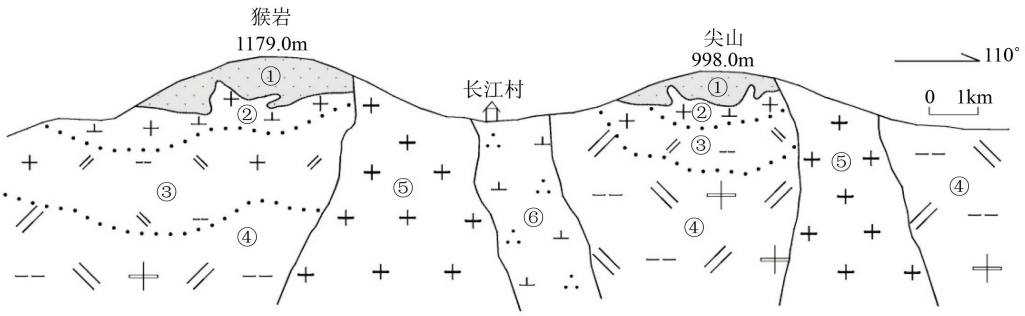


Figure 3. Concordia plot and average distribution showing the zircon U-Pb analyses of the Houyan pluton intermediate-fine grained biotite monzogranite
图 3. 猴岩岩体锆石年龄谐和图及其平均分布图



① 泥盆纪地层；② 晚侏罗世花岗闪长岩；③ 晚侏罗世细粒黑云母二长花岗岩；④ 晚侏罗世粗中粒斑状黑云母二长花岗岩；⑤ 早白垩世石英闪长岩；⑥ 晚白垩世花岗斑岩。

Figure 4. The magma evolution of Houyan pluton
图 4. 猴岩岩体岩石序列示意图

主，因此本区或存在少量印支期花岗岩，但被后期燕山期岩浆活动所破坏。

佛冈岩体主体花岗岩具有高硅、低镁、富碱的特征[15]，其里特曼指数为 1.66~2.19，显示其为钙碱性系列，并且其 A/CNK 介于 0.80~1.09 之间[4]，而陈小明[3]等获得其 A/CNK 在 0.99~1.199 之间，显示佛冈岩体为中等－弱过铝质花岗岩。佛冈岩体 K_2O 含量较高，而 Na_2O 的含量一般都小于 K_2O 的含量，$\omega(K_2O)/\omega(Na_2O) > 1$，在 ACF 图中绝大多数投影点位于斜长石－白云母－黑云母组合内，与 S 型花岗岩类似[3]。这些特征均表明佛冈岩体中的钙碱性花岗岩成岩物质来源于地壳。同时，庄文明[4]等获得其佛冈主体花岗岩$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 在 0.71148~0.7159 之间，$\delta^{18}O$ 介于 8.7‰~14.5‰之间。赵子杰[16]等获得其$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 为(0.7116 ± 0.0023)，$\delta^{18}O$ 为 9.3‰~12.5‰。二者结果均表明佛冈主体花岗岩$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i > 0.708$，而 $\delta^{18}O$ 平均值亦大于 10‰。这些特征表明成岩物质源自地壳，属陆壳改造型(S 型)花岗岩。

早侏罗世时(约 200 Ma)，古太平洋板块开始对欧亚大陆板块发生俯冲消减[17]，导致中－下地壳增温部分熔融形成岩浆，此后，岩浆分多期次、多阶段侵位，同时对早期印支期的花岗岩进行破坏与改造。至晚侏罗世时(约 160 Ma)，岩浆发生大规模侵位，形成佛冈花岗岩主体，同时，岩浆的分异结晶作用又导致猴岩岩体自下向上可分为三个相带(图 4)：中间相(粗中粒斑状黑云母二长花岗岩)、过渡相(细粒黑云母二长花岗岩)、边缘相(细粒花岗闪长岩)。至早白垩世时(约 140 Ma)，华南地区构造应力由碰撞挤压向剪切拉张转变[18]，此时华南地壳总体处于伸展应力背景，从而引发板块内部玄武岩浆对下地壳底侵，进而进一步形成花岗岩，并导致大量晚白垩世花岗斑岩侵入于猴岩岩体。

致　谢

感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试及数据处理工程中得到合肥工业大学李全忠老师的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

基金项目

中国地质调查局“广东 1:5 万周陂公社等四幅区域地质矿产调查”项目(12120113063100)。

参考文献 (References)

[1] 广东省地质调查院. 1:25 万连平幅区域地质调查报告[Z]. 广东省地质调查院, 2007.

[2] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[Z]. 广东省地质矿产局, 1988.

[3] 陈小明, 王汝成, 刘昌实, 胡欢, 张文兰, 高剑锋. 广东从化佛冈(主体)黑云母花岗岩定年和成因[J]. 高校地质学报, 2002, 8(3): 293-307.

[4] 庄文明, 陈绍前, 黄友义. 佛冈复式岩体地质地球化学特征及其成岩源岩[J]. 广东地质, 2000, 15(3): 1-12.

[5] 徐夕生, 鲁为敏, 贺振宇. 佛冈花岗岩基及乌石闪长岩-角闪辉长岩体的形成年龄和起源[J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(1): 27-38.

[6] Liu, Y.S., Hu, Z.C., Gao, S., *et al.* (2008) *In Situ* Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICPMS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, **257**, 34-43. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.08.004

[7] Liu, Y., Gao, S., Hu, Z., *et al.* (2010) Continental and Oceaniccrust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons of Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, **51**, 537-571. http://dx.doi.org/10.1093/petrology/egp082

[8] Liu, Y., Hu, Z., Zong, K., *et al.* (2010) Reappraisement and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, **55**, 1535-1546. http://dx.doi.org/10.1007/s11434-010-3052-4

[9] Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., *et al.* (1995) Three Natural Zircon Standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, Trace Element and REE Analyses. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **19**, 1-23. http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x

[10] Slama, J., Kosler, J., Condond, J., *et al.* (2008) Plesovice Zircon—A New Natural Reference Material for U-Pb and

Hfisotopic Microanalysis. *Chemical Geology*, **249**, 1235. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005

[11] Ludwijk, R. (2003) ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, California, Berkeley.

[12] Andersen, T. (2002) Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That Do Not Report 204 Pb. *Chemical Geology*, **192**, 59-79. http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00195-X

[13] 包志伟, 赵振华. 佛冈铝质 A 型花岗岩的地球化学及其形成环境初探[J]. 地质地球化学, 2003, 31(1): 52-61.

[14] Li, X.H., Li, Z.X., Li, W.X., Liu, Y., Yuan, C., Wei, G.J. and Qi, C.S. (2007) U-Pbzircon, Geochemical and Sr-Nd-Hf Isotopic Constraints on Age and Origin of Jurassic I- and A-Type Granites from Central Guangdong, SE China: A Major Igneous Event in Response to Foundering of a Subducted Flat-Slab? *Lithos*, **96**, 186-204. http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2006.09.018

[15] 陈璟元, 杨进辉. 佛冈高分异 I 型花岗岩的成因: 来自 Nb-Ta-Zr-Hf 等元素的制约[J]. 岩石学报, 2015, 31(3): 846-854.

[16] 赵子杰, 马大铨, 林惠坤, 等. 广东龙窝、佛冈花岗岩体地球化学特征及其地质背景[M]//南岭地质矿产科研报告集(第一辑). 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986: 28-67.

[17] 林小明, 李宏卫, 黄建桦, 娄峰. 广东连平大顶铁矿区石背岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2016, 55(1): 131-136.

[18] 周玲棣, 赵振华, 周国富. 我国一些碱性岩的同位索年代学研究[J]. 地球化学, 1996, 2s(2): 164, 171.

Hans汉斯

再次投稿您将享受以下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx