

湖北麻城市四道河地区面理化含榴花岗岩的成因

张富铁^{1 2 3}, 夏斌^{1 4}, 张玉泉¹, 黄强太^{1 2}, 张红^{1 2}, 李贺^{1 2}

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 广东省有色金属地质勘查局 地质勘查研究院, 广东 广州 510080; 4. 中山大学 海洋学院, 广东 广州 510275)

摘要:野外和室内研究结果表明,四道河地区面理化含榴花岗岩由古生代沉积岩变质而成。在元素地球化学特征上,具有与岩浆成因的碱性花岗岩一致的特点:高硅($\text{SiO}_2 = 75.24\% \sim 77.23\%$)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6.87\% \sim 8.84\%$)、低铝($\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.00\% \sim 12.78\%$);富 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素和 Pb, 贫 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素;稀土元素含量较高($\sum \text{REE} = 101.08 \sim 180.1 \mu\text{g/g}$),轻稀土元素相对富集($\text{LREE/HREE} = 3.1 \sim 6.8$),钕有中等负异常($\delta\text{Eu} = 0.30 \sim 0.68$);锆石成因类型及定年结果表明,老核(继承锆石)是异地多时代(元古代-古生代),其寄主岩的原岩是沉积岩,时代不会早于古生代。

关键词:地球化学; 锆石 U-Pb 年龄; 面理化含榴花岗岩; 四道河; 湖北麻城市

中图分类号: P595; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1552(2012)02-0293-008

0 引言

位于大别山西部湖北省麻城市四道河地区的面理化含榴花岗岩,具有碱性(A型)花岗岩特征(张宏飞等 2001)。而碱性花岗岩,又分含碱性铁镁矿物的钠质碱性花岗岩(Sorensen, 1974),和含非碱性铁镁矿物的钾质碱性花岗岩(张玉泉和谢应雯, 1994)。无论是钠质碱性花岗岩,还是钾质碱性花岗岩,不仅是深源的,而且都产于伸展构造环境(Petro et al., 1979)。近期研究还发现有由沉积岩变质成的碱性花岗岩(张玉泉等 2004)。然而,对大别-苏鲁地区面理化含榴花岗岩的成因和时代的认识还存在分歧(徐树桐和吴维平, 1998; 钟增球等, 1999; 张宏飞等 2001; 张利等 2004; 张玉泉等, 2004; 夏斌等 2011)。分布在麻城市四道河地区的面理化含榴花岗岩,以往仅对其做过单颗粒锆石全溶年龄(张宏飞等 2001)和主微量元素分析(鄢全

树等 2005)等。本文在前人研究工作基础上,着重于四道河地区面理化含榴花岗岩中锆石成因类型和微区定年研究。

1 地质、岩石简况

研究区的片麻岩,也就是本文所称的面理化含榴花岗岩,在 1/20 万区域地质调查报告中划归红安群天台山组一段(Pt_1tn^1)^①,在 1/50 万湖北省区域地质志中,划归天台山组三段(Pt_1tn^3) (湖北省地质矿产局, 1990)。其片理产状为 $240^\circ \angle 38^\circ$ (图 1)。岩石呈灰白色,具片麻状构造,柱粒变晶结构、粒状变余结构和花岗变晶结构等(图 2)。造岩矿物有钾长石、斜长石、石英和黑云母等。其中黑云母多呈小板条状,石英多呈带状分布,斜长石常呈不规则的粒状、孤岛状,以及变晶斜长石的钠长石双晶,常垂直晶体的延长方向(图 2)等,表明该片麻岩结晶时是

收稿日期: 2011-04-26; 改回日期: 2011-12-30

项目资助: 国家重点发展研究计划(973) (编号: 2009CB219401)、国家自然科学基金(批准号: 40534019)和中国大洋协会项目(DYXM-115-02-3-06)联合资助。

第一作者简介: 张富铁(1967-),男,高级工程师,构造地质学专业。通信作者: 夏斌, xiabin01@gmail.com

① 湖北省地质局. 1974. 罗田幅 1/20 万区域地质调查报告(地质部分): 5-35.

在固态下完成的。另外,石榴石常呈集合体和成片分布等。本文 SDH1 样品产自四道河采石场西壁 (N31°22.178', E115°03.723'); DJF1 样品产自邓家畈村东北,国道 (G206) 东侧山边采石场 (N31°21.600'; E115°03.723')。

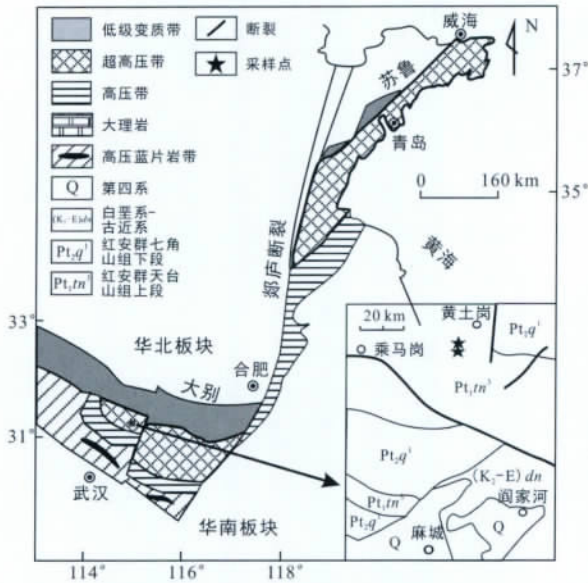


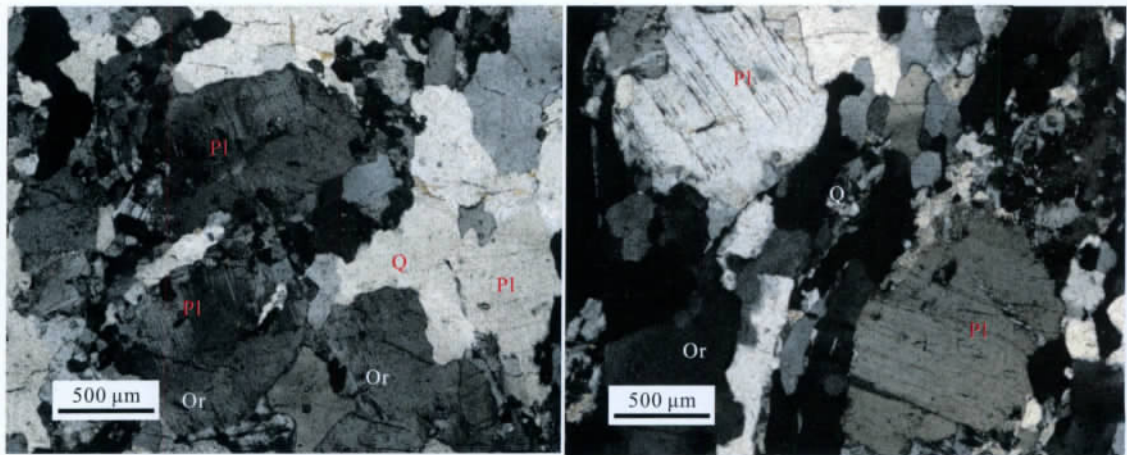
图 1 四道河地区地质简图(据湖北省地质矿产局,1990)
Fig. 1 Regional geological map of the Sidaohe area

2 元素地球化学特征

四道河地区面理化含榴花岗岩样品的化学分析在中国科学院广州地球化学研究所的 Rigaku RIX2000 型荧光光谱仪(XRF)测定,分析精度优于 5%。微量元素(包括稀土元素)在中国科学院广州地球化学研究所 Perkin-Elmer Sciex ELAN6000 型电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)上分析,分析精度优于 3%。

2.1 主量元素

四道河地区面理化含榴花岗岩的岩石化学成分分析结果(表 1)显示: SiO₂ 含量变化于 75.24% ~ 77.23% 之间,全碱(Na₂O + K₂O)含量为 6.87% ~ 8.84%, Na₂O/K₂O = 0.96 ~ 1.45 和 Al₂O₃ 含量变化于 11.00% ~ 12.78% 之间,均表明岩石化学成分具有高硅、低铝、富碱的特点。不同的是四道河的样品(SDH1)总碱量低(Na₂O + K₂O = 6.87% ~ 7.99%) 和富钠(Na₂O/K₂O = 1.30 ~ 1.45),邓家畈的样品(DJF1)总碱量高(Na₂O + K₂O = 8.28% ~ 8.84%) 和富钾(Na₂O/K₂O = 0.96 ~ 0.98)。另外,在 Cox et al. (1979) 和 Wilson (1989) 的岩石化学分类和命名 TAS 图解中(图 3),绝大部分数据点都分布在碱性



Pl. 斜长石; Qr. 钾长石; Q. 石英。

图 2 四道河地区面理化含榴花岗岩岩石显微照片(正交)

Fig. 2 Micrographs of the garnet-bearing granites from the Sidaohe area (cross polarizer)

花岗岩区及其附近,表明四道河地区面理化含榴花岗岩,在总体上显示碱性(A型)花岗岩的特点。

2.2 微量元素和稀土元素

在微量元素(表 1)组成特征上,四道河地区面理化含榴花岗岩富集 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素和 Pb,贫 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素。在微量元

素蛛网图(图 4)上, Ba、Nb、Sr、Eu 等呈现“V”型谷。在稀土元素中,具有较高的稀土元素总量(ΣREE = 101.08 ~ 180.1 μg/g),轻稀土元素相对富集(LREE/HREE = 3.1 ~ 6.8),钕有负异常(δEu = 0.30 ~ 0.68)和稀土模式曲线为向右微倾斜的“V”型(La/Yb = 3 ~ 5)(图 5)。区别在于四道河的样品

表 1 四道河地区面理化含榴花岗岩主量元素(%)、微量元素($\mu\text{g/g}$)分析结果

Table 1 Major (%) and trace element concentrations($\mu\text{g/g}$) of the garnet-bearing granites from the Sidaohe area

样号	SDH1-1	SDH1-2	SDH1-3	DJF-1	DJF-2	DJF-3	DJF-4
SiO ₂	76.66	77.16	75.24	75.74	77.23	75.25	75.56
TiO ₂	0.15	0.12	0.17	0.20	0.19	0.20	0.20
Al ₂ O ₃	11.31	11.00	12.3	12.78	11.92	12.54	12.13
Fe ₂ O ₃	1.73	1.87	1.8	2.02	1.57	1.91	1.68
MnO	0.08	0.08	0.08	0.06	0.10	0.07	0.09
MgO	0.11	0.11	0.19	0.21	0.14	0.20	0.16
CaO	0.78	0.63	0.53	0.75	0.47	0.68	0.54
Na ₂ O	4.16	3.9	4.51	4.10	4.32	4.15	4.25
K ₂ O	2.87	2.97	3.46	4.18	4.52	4.26	4.42
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.08	0.02	0.03	0.03	0.03
Total	98.11	98.48	99.11	99.04	100.06	99.30	99.06
Na ₂ O + K ₂ O	7.03	6.87	7.99	8.28	8.84	8.41	8.67
Na ₂ O/K ₂ O	1.45	1.31	1.30	0.98	0.96	0.97	0.96
(Na ₂ O + K ₂ O)/CaO	10.04	10.90	15.08	11.04	18.81	8.42	8.65
Be	1.92	1.52	2.31	2.59	1.89	2.42	2.07
Sc	5.57	6.25	6.12	6.21	4.98	5.91	5.29
V	9.35	8.55	18.4	11.4	7.64	10.46	8.58
Cr	69	34	13.9	24.1	7.88	20.05	11.94
Co	2.45	1.73	1.45	3.13	1.91	2.84	2.22
Ni	28.3	16	6.19	11.7	3.49	13.88	5.55
Cu	11.2	13.8	15.9	19.4	12.7	21.4	14.38
Zn	47.8	36.3	38.2	30.7	16.1	27.05	19.75
Ga	17.3	17.1	15.7	1.43	1.33	1.41	1.36
Rb	51.5	46.5	48.1	90.8	78.6	87.75	81.65
Sr	125	121	106	87.8	70.5	843.75	74.83
Y	53.22	50.46	46.37	43.29	44.95	22.06	44.54
Nb	15.7	13	14.4	13.1	13.4	13.18	13.33
Cs	0.4	0.35	0.48	0.44	0.40	0.43	0.41
Ba	810	840	832	977	869	950	896
Hf	7.83	7.95	5.01	5.7	5.7	3.27	5.7
Ta	1.57	1.19	1.14	1.2	1.05	1.22	1.09
Pb	29.3	27.1	23.6	16.3	14.8	20	15.18
Th	12.1	11	13.4	8.13	9.53	31.62	9.18
U	2.1	2.22	1.69	1.47	0.98	4.22	1.11
Y/Nb	3.39	3.89	3.22	3.30	3.35	1.67	3.34
Rb/Sr	0.41	0.38	0.45	1.03	1.11	0.10	1.09
Ba/Rb	15.73	18.06	17.3	10.76	11.06	10.83	10.97
La	25.4	24.5	37.4	21.6	25.8	23.9	24.75
Ce	61	57.2	76.5	51.2	59	28.87	32.05
Pr	7.62	6.99	8.25	6.65	7.29	3.72	7.13
Nd	27.9	25	28.3	25.5	26.9	15.33	26.55
Sm	7.34	6.41	6.03	6.67	6.4	3.80	6.47
Eu	0.67	0.58	0.62	1.03	0.85	0.99	0.90
Gd	6.2	5.42	4.83	5.44	4.88	5.30	5.02
Tb	1.35	1.18	0.999	0.99	0.87	0.96	0.90
Dy	8.31	7.47	6.22	6.64	6.37	6.58	6.44
Ho	1.86	1.64	1.4	1.51	1.50	1.51	1.51
Er	5.29	4.74	4.11	4.44	4.43	4.44	4.44
Tm	0.795	0.729	0.639	0.67	0.72	0.69	0.71
Yb	5.44	4.79	4.19	4.14	4.56	4.25	4.46
Lu	0.764	0.696	0.62	0.71	0.79	0.73	0.77
Σ REE	159.9	147.3	180.1	137.19	174.48	101.08	122.10
LREE/HREE	4.33	4.53	6.83	4.59	5.23	3.13	4.04
δ Eu	0.30	0.30	0.35	0.51	0.45	0.68	0.47
La/Yb	4.7	5.1	8.9	3.4	3.7	3.7	3.7

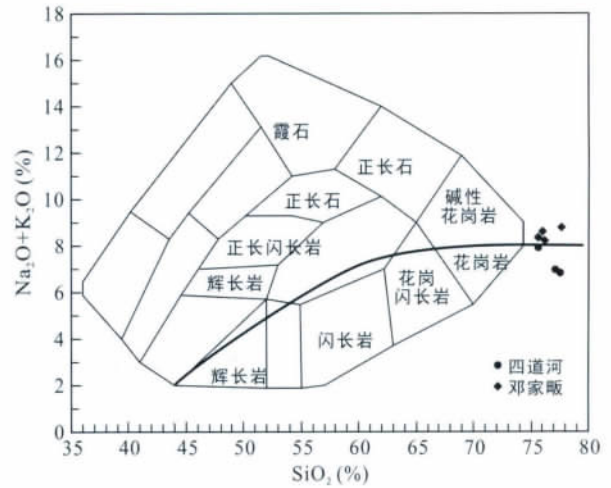


图 3 四道河地区面理化含榴花岗岩全碱-硅图解(TAS)

Fig. 3 TAS diagram for the garnet-bearing granites from the Sidaohe area

(SDH1) 富 Sr、Ba, 贫 Rb, 稀土总量高(Σ REE = 162 $\mu\text{g/g}$) 和钕负异常明显($\delta\text{Eu} = 0.30 \sim 0.35$) 等, 而邓家畈的样品(DJF1) 贫 Sr、Ba, 富 Rb, 稀土总量低(Σ REE = 133 $\mu\text{g/g}$) 和钕出现负异常($\delta\text{Eu} = 0.45 \sim 0.68$) 等。在前述的大离子亲石元素中富 Ba 贫 Sr, 有别于岩浆成因的钾质碱性花岗岩, 特别富集 Sr、Ba 等大离子亲石元素和轻稀土元素(LREE), 以及钕异常不明显(夏斌等 2006)。

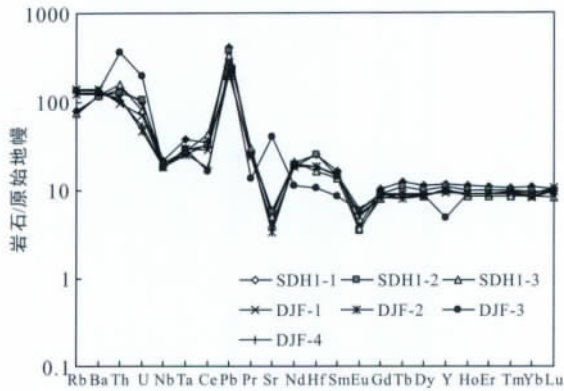
3 锆石 U-Pb 年龄

3.1 锆石分选

在锆石分选过程中, 为尽量排除交叉混样, 采用下列流程: ①先把 0.5 kg 左右的样品破碎成约 1 cm³ 的小块; ②把碎好的样品放入振动磨样机中(1.1/0.75 kW) 研磨 5~8 秒后取出, 此过程反复进行到样品全部通过 0.3 mm 孔径筛; ③洗去粉尘, 经铝制淘砂盘富集重矿物, 烘干; ④通过磁选、电磁选; ⑤再淘洗非电磁部分获得锆石精矿; ⑥在双目镜下挑选出用于定年的锆石。

3.2 分析方法和精度

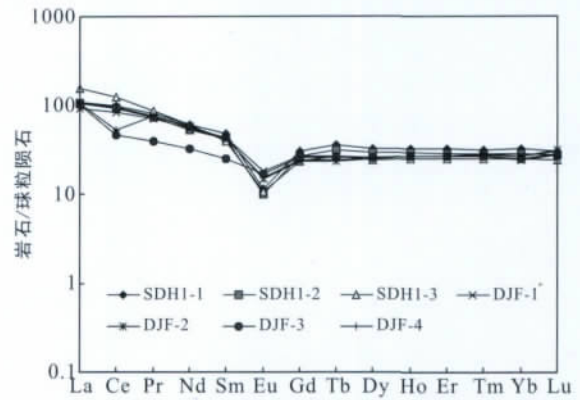
锆石 LA-ICP-MS 分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。将锆石与标样(TEM = 417 Ma) 置于玻璃板上, 用环氧树脂固定制成样品靶, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露, 暴露出锆石的中心面, 喷碳沫照阴极(CL) 发光相。再擦掉碳沫, 即可进行 LA-ICP-MS U、Pb 含量测定, 采用单点剥蚀的方法(激光剥蚀斑束直径为 31 μm , 频率为 8 Hz)。详细实验流程和数据处



标准化值引自 Sun and McDonough, 1989。

图 4 四道河地区含榴花岗岩微量元素蛛网图

Fig. 4 Trace element spider diagrams of the garnet-bearing granites from the Sidaohe area



标准化值引自 Sun and McDonough, 1989。

图 5 四道河地区含榴花岗岩稀土元素配分图

Fig. 5 Chondrite normalized REE patterns of the garnet-bearing granites from the Sidaohe area

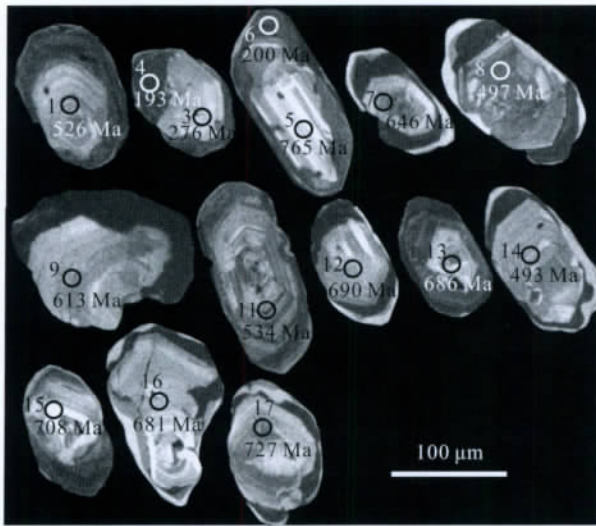


图 6 四道河面理化含榴花岗岩锆石阴极发光 (CL) 图像和测点位置

Fig. 6 Cathodoluminescence images and analyzed points of zircons in the garnet-bearing granite from the Sidaohe area

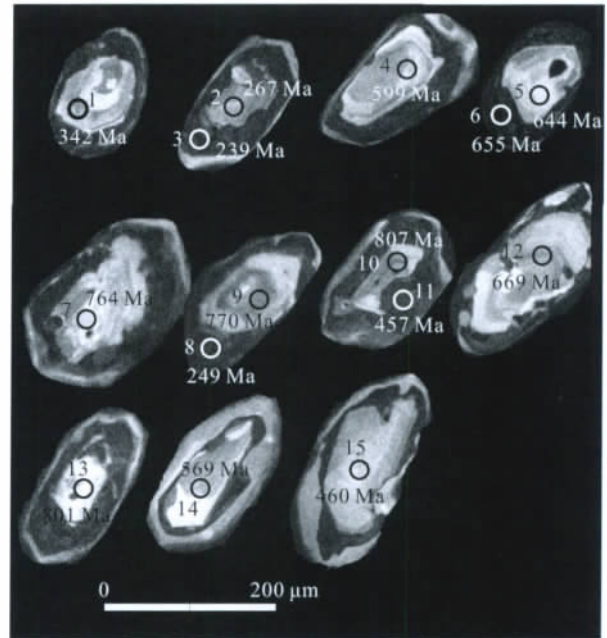


图 7 邓家畷面理化含榴花岗岩锆石阴极发光 (CL) 图像和测点位置

Fig. 7 Cathodoluminescence images and analyzed points of zircons in the garnet-bearing granite from the Dengjiafan area

理见文献(涂湘林等 2011)。应用实测²⁰⁴Pb校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为 1σ,采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,其加权平均值为 95%的置信度。

3.3 分析结果

锆石的阴极发光图像(图 6、7)显示:在结构上,既有核、幔、壳三层结构,又有核、壳两层结构,其中老核(继承锆石)为具有韵律环带的岩浆碎屑锆石。本文共完成了 25 颗粒锆石 30 个点的 LA-ICP-MS U-Pb 定年:(1)四道河面理化含榴花岗岩中锆石,共测定 13 个颗粒 15 个点(表 2):老核(继承锆石)测定

13 个点, Th 含量为 65 ~ 377 μg/g, U 含量为 55 ~ 364 μg/g, Th/U 大于 0.17。其中有 8 个年龄属于元古代(765、727、708、691、686、681、648 和 613 Ma),有 5 个属于古生代(534、526、497、493 和 276 Ma);变质复合锆石的新壳(变质锆石)测定 2 个点(图 6), Th 含量为 12 ~ 38 μg/g, U 含量为 792 ~ 1081 μg/g, Th/U < 0.03,其年龄值分别为 200 Ma 和 197 Ma,属于中生代;(2)邓家畷面理化含榴花岗

表 2 四道河地区面理化含榴花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄数据

Table 2 LA-ICP-MS zircons U-Pb results of the garnet-bearing granites from the Sidaohu area

序号	测点	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Th ($\mu\text{g/g}$)	U ($\mu\text{g/g}$)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)
1	SDH1-1-1	14	146	99	1.47	0.0721 ± 79	0.8612 ± 971	0.0851 ± 19	991 ± 224	526.3 ± 11.3
2	SDH1-2-3	20	65	364	0.18	0.0625 ± 40	0.3830 ± 250	0.0438 ± 9	700 ± 135	276.5 ± 5.5
3	SDH1-2-4	37	38	1081	0.03	0.0577 ± 41	0.2443 ± 168	0.0305 ± 9	520 ± 183	193.5 ± 5.4
4	SDH1-3-5	29	174	148	1.18	0.0802 ± 47	1.4057 ± 815	0.1261 ± 25	1267 ± 117	765.4 ± 14.2
5	SDH1-3-6	28	12	792	0.02	0.0531 ± 33	0.2323 ± 134	0.0316 ± 7	345 ± 145	200.7 ± 4.3
6	SDH1-4-7	19	98	149	0.66	0.0742 ± 55	1.0738 ± 860	0.1055 ± 48	1056 ± 144	646.4 ± 28.0
7	SDH1-5-8	23	96	256	0.37	0.0595 ± 35	0.6691 ± 495	0.0803 ± 39	583 ± 130	497.8 ± 23.4
8	SDH1-6-9	9	70	55	1.28	0.0742 ± 83	1.0265 ± 1140	0.0998 ± 35	1056 ± 227	613.2 ± 20.3
9	SDH1-7-11	28	209	191	1.09	0.0899 ± 60	1.0922 ± 740	0.0865 ± 30	1433 ± 124	534.6 ± 17.8
10	SDH1-8-12	25	200	139	1.44	0.0590 ± 48	0.9252 ± 694	0.1131 ± 38	569 ± 178	690.8 ± 21.8
11	SDH1-9-13	62	377	360	1.05	0.0722 ± 47	1.1417 ± 754	0.1123 ± 21	992 ± 133	686.2 ± 12.0
12	SDH1-10-14	28	228	236	0.97	0.0631 ± 39	0.6985 ± 480	0.0796 ± 30	709 ± 133	493.7 ± 18.2
13	SDH1-11-15	27	176	152	1.16	0.0699 ± 48	1.1277 ± 776	0.1162 ± 26	924 ± 143	708.6 ± 15.0
14	SDH1-12-16	27	110	154	0.71	0.1292 ± 88	2.0004 ± 1442	0.1115 ± 27	2087 ± 121	681.3 ± 15.6
15	SDH1-13-17	32	168	202	0.88	0.0587 ± 40	0.9764 ± 720	0.1195 ± 34	567 ± 152	727.7 ± 19.5
16	DJF1-01	28	229	366	0.63	0.0447 ± 44	0.3498 ± 337	0.0545 ± 16	error	342.3 ± 10.0
17	DJF1-02	45	45	985	0.05	0.0473 ± 39	0.2872 ± 223	0.0423 ± 10	61 ± 194	267.1 ± 6.0
18	DJF1-03	57	16	1402	0.01	0.0400 ± 35	0.2190 ± 185	0.0379 ± 8	error	239.6 ± 5.1
19	DJF1-04	13	103	127	0.81	0.0597 ± 80	0.8916 ± 1392	0.0974 ± 55	594 ± 293	599.0 ± 32.2
20	DJF1-05	19	85	159	0.53	0.0649 ± 71	0.9839 ± 1150	0.1051 ± 47	770 ± 233	644.2 ± 27.5
21	DJF1-06	13	58	130	0.44	0.0567 ± 79	0.8632 ± 1277	0.1070 ± 54	480 ± 313	655.1 ± 31.7
22	DJF1-07	6	43	33	1.30	0.0755125	1.3235 ± 2191	0.1258 ± 53	1083 ± 337	763.8 ± 30.2
23	DJF1-08	33	26	797	0.03	0.0456 ± 50	0.2552 ± 278	0.0394 ± 8	error	249.2 ± 5.0
24	DJF1-09	13	129	58	2.23	0.0636 ± 79	1.1443 ± 1449	0.1269 ± 36	728 ± 267	770.4 ± 20.5
25	DJF1-10	16	155	77	2.01	0.0606 ± 69	1.1386 ± 1356	0.1334 ± 54	633 ± 242	807.3 ± 30.5
26	DJF1-11	21	53	402	0.13	0.0532 ± 68	0.5761 ± 1197	0.0735 ± 65	339 ± 293	457.1 ± 38.8
27	DJF1-12	20	137	125	1.10	0.0576 ± 60	0.8648 ± 851	0.1094 ± 37	517 ± 199	669.5 ± 21.7
28	DJF1-13	10	75	55	1.36	0.0928 ± 118	1.7094 ± 2176	0.1323 ± 57	1483 ± 234	801.0 ± 32.3
29	DJF1-14	18	89	253	0.35	0.0584 ± 60	0.7679 ± 975	0.0924 ± 59	546 ± 224	569.8 ± 34.6
30	DJF1-15	7	39	65	0.60	0.1030 ± 157	0.9977 ± 1468	0.0740 ± 35	1680 ± 287	460.2 ± 20.7

岩中锆石,共测定 12 个颗粒 15 个点(表 2):老核(继承锆石)测定 12 个点,Th 含量为 39 ~ 229 $\mu\text{g/g}$, U 含量为 33 ~ 366 $\mu\text{g/g}$, Th/U 大于 0.13,其年龄值分别为 807、801、770、763、708、669、655、644 和 599 Ma,属于元古代,其余 4 个年龄值分别为 569、460、457 和 342 Ma,属于古生代。变质复合锆石的新壳(变质锆石)测定 3 个点(图 7),其中 DJF1-02 测点, Th/U 值接近继承锆石,暗示该测点可能有继承锆石成分的参与。其余测点, Th 含量为 16 ~ 26 $\mu\text{g/g}$, U 含量为 797 ~ 1402 $\mu\text{g/g}$, Th/U < 0.03,其年龄值分别为 249 和 239 Ma,属于中生代,相当于早三叠世。

锆石定年结果表明,四道河地区面理化含榴花岗岩中“继承锆石”的时代从元古代到古生代(807 ~ 599 Ma → 569 ~ 267 Ma),变质锆石亦获得两组年龄值:早中三叠世(249 ~ 239 Ma),和接近晚三叠世的年龄(200 ~ 197 Ma)。但后者年龄值明显偏低。

锆石 REE 分析结果(表 3)显示:(1)稀土元素含量高($\Sigma\text{REE} = 418 \sim 2114 \mu\text{g/g}$)、特别富集重稀土(HREE/LREE = 11 ~ 52)、铕负异常由明显到不明显($\delta\text{Eu} = 0.28 \sim 0.83$)、模式曲线向左倾;(2)继承锆石(岩浆锆石)的稀土元素含量,均高于变质锆石(图 9 和图 11)。

表 3 四道河地区面理化含榴花岗岩锆石稀土元素数据($\mu\text{g/g}$)Table 3 Zircons REE concentrations of zircons from the garnet-bearing granites from the Sidaohe area ($\mu\text{g/g}$)

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	HREE/LREE	δEu
SDH1-01	0.04	48.95	0.14	2.67	5.33	1.69	28.70	9.40	119.66	49.14	234.56	50.60	476.64	103.28	12153.14	159.68	0.42
SDH1-03	0.41	37.27	0.27	3.31	5.00	2.61	28.17	8.92	107.40	41.40	188.22	39.22	364.94	79.12	9617.10	126.98	0.67
SDH1-04	0.03	11.87	0.04	0.50	1.27	0.69	7.10	2.74	38.09	17.46	97.1	24.34	279.33	74.67	6732.00	325.48	0.70
SDH1-05	0.24	57.12	0.42	5.58	9.33	2.95	48.74	16.52	193.79	76.536	351.09	76.19	716.81	148.26	18179.26	162.36	0.42
SDH1-06	0.11	3.17	0.03	2.18	0.31	0.06	1.55	0.78	13.41	7.20	45.41	13.35	174.43	51.68	4080.91	591.81	0.28
SDH1-07	0.07	31.04	0.05	1.18	2.65	0.64	16.78	6.37	80.71	33.85	163.15	36.59	354.47	74.73	8698.27	210.16	0.29
SDH1-08	0.01	28.79	0.07	0.78	2.12	0.64	13.83	5.61	71.99	30.45	149.56	34.22	343.08	73.69	8278.13	221.28	0.36
SDH1-09	0.02	34.54	0.16	2.17	3.89	1.54	21.73	7.65	87.34	35.07	156.50	33.06	316.59	64.30	8024.39	138.76	0.51
SDH1-11	0.24	32.18	0.32	3.72	7.32	2.83	39.17	13.55	163.27	63.54	289.96	62.45	593.96	120.04	14900.91	183.52	0.51
SDH1-14	0.35	128.06	0.92	12.41	19.76	10.71	94.94	27.11	291.60	102.84	429.87	84.31	758.37	153.52	21121.41	74.33	0.76
SDH1-17	0.55	72.71	0.12	1.00	1.87	0.57	15.43	6.90	102.27	48.04	257.84	62.91	640.47	138.14	14888.40	202.14	0.33
DJF1-01	0.02	4.73	0.04	0.50	0.64	0.24	2.20	0.54	6.01	1.90	7.84	1.58	12.69	2.24	41.17	5.67	0.62
DJF1-02	0.95	1.92	0.82	5.60	2.16	0.25	2.86	0.37	3.02	1.09	6.22	1.78	25.27	6.82	93.16	4.05	0.31
DJF1-03	4.50	8.82	0.99	3.87	0.97	0.21	1.72	0.58	6.29	2.15	11.35	3.14	39.04	9.53	93.16	3.81	0.50
DJF1-04	0.04	1.90	0.04	0.38	0.47	0.12	1.01	0.26	2.93	1.40	5.97	1.45	15.95	3.85	35.77	11.13	0.53
DJF1-05	0.02	1.42	0.02	0.16	0.32	0.08	1.13	0.37	4.66	2.09	9.10	1.82	15.66	2.90	39.75	18.68	0.41
DJF1-06	0.02	0.70	0.02	0.23	0.25	0.07	0.91	0.29	3.53	1.41	6.31	1.64	16.86	3.14	35.38	26.43	0.45
DJF1-07	0.15	1.63	0.11	0.65	0.34	0.12	1.07	0.28	3.02	1.11	4.76	1.00	9.67	1.86	25.77	7.59	0.61
DJF1-08	0.05	0.46	0.02	0.19	0.15	0.05	0.26	0.09	0.98	0.66	5.01	1.93	28.49	8.35	46.69	49.75	0.77
DJF1-09	9.86	19.15	1.97	7.72	1.97	0.62	6.67	1.53	14.06	4.40	17.08	3.29	27.58	5.30	121.2	1.94	0.52
DJF1-10	0.05	5.44	0.07	0.97	1.58	0.67	7.00	1.90	19.48	6.47	24.42	4.42	35.71	6.66	114.84	12.08	0.62
DJF1-11	0.08	2.05	0.03	0.37	0.33	0.15	1.17	0.31	2.59	0.67	2.65	1.22	19.76	5.83	37.21	11.36	0.74
DJF1-12	0.06	2.49	0.05	0.41	0.36	0.14	1.82	0.61	6.79	2.54	11.36	2.34	20.45	4.06	53.48	14.24	0.53
DJF1-13	0.30	1.99	0.24	1.58	0.65	0.16	1.69	0.45	4.47	1.70	7.49	1.57	15.09	3.22	40.6	7.25	0.47
DJF1-14	0.02	0.30	0.03	0.36	0.40	0.12	1.13	0.25	1.97	0.78	2.28	0.47	4.31	1.12	13.54	10.01	0.55
DJF1-15	0.04	0.62	0.04	0.47	0.37	0.25	1.81	0.36	3.62	1.20	5.13	0.94	9.07	1.88	25.8	13.41	0.93

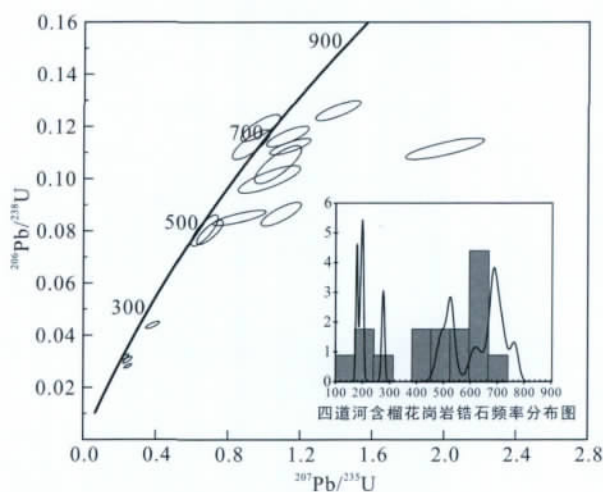
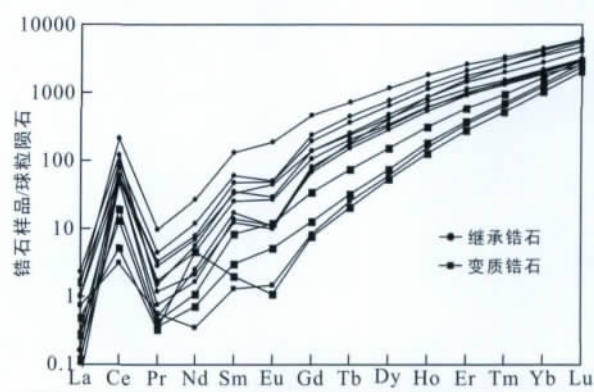


图 8 四道河面理化含榴花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图

Fig. 8 Concordia diagram showing LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the garnet-bearing granite from the Sidaohe area



标准化值引自 Sun and McDonough, 1989.

图 9 四道河含榴花岗岩锆石 REE 配分图

Fig. 9 Chondrite normalized REE patterns of zircons from the garnet-bearing granite in the Sidaohe area

4 讨论

4.1 面理化含榴花岗岩的属性

在早期的 1/20 万区域地质调查报告中,将肉红色片麻岩描述为碱长片麻岩(湖北省地质局,

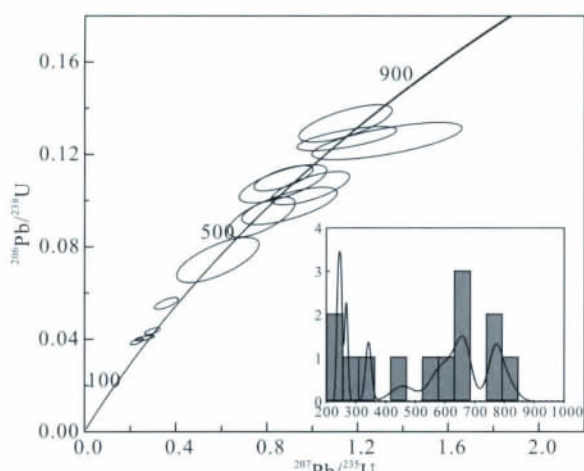


图 10 邓家畈面理化含榴花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图

Fig. 10 Concordia diagram showing LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the garnet-bearing granite from the Dengjiafan area

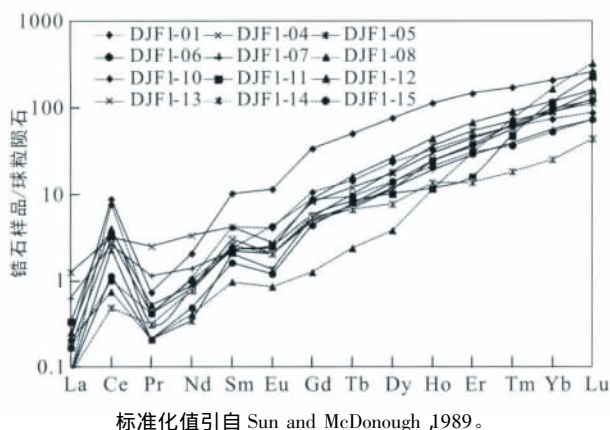


图 11 邓家畈含榴花岗岩锆石 REE 配分图

Fig. 11 Chondrite normalized REE patterns of zircons from the garnet-bearing granite in the Dengjiafan area

1974)。后来张宏飞等(2001)将麻城市四道河含石榴石片麻岩命名为面理化含榴花岗岩,其岩石化学组成具有 A 型花岗岩地球化学特征(徐树桐和吴维平,1998;钟增球等 1999;张利等 2004)。本文在前人的工作基础上,除进行锆石微区定年之外,还加补了岩石主量、微量元素成分分析,结合图解判别等方法,进一步证明了面理化含榴花岗岩,实属碱性(A 型)花岗岩。

4.2 面理化含榴花岗岩的成因

根据野外和室内研究结果,面理化含榴花岗岩是由沉积岩变质而成,其依据有:(1)显示沉积韵律层的黑白条带,尽管很薄(1~3 mm),但很稳定(延

长很远);(2)经过了两次变质作用:第一次,斜长石呈不规则的粒状、孤岛状和眼球状,以及变晶斜长石的钠长石双晶,常垂直晶体的延长方向(图 2)。第二次,长英质脉(韧性变形体)包裹和切穿前者(图 2)。锆石 CL 图(图 6 和图 7)亦显示两次变质作用:第一次变质作用结晶的锆石, U、Th 含量高, CL 图呈黑色;第二次结晶的锆石, U、Th 含量低, CL 图呈灰白色;(3)根据锆石成因类型:由岩浆作用结晶的锆石,晶体自形、发育有规则的韵律环带,该类锆石分为岩浆锆石和具有老核新壳的岩浆复合锆石;由变质作用结晶的锆石,晶体常不规则和不发育韵律环带结构,该类锆石分为变质锆石和具有老核新壳的变质复合锆石(张玉泉等 2004)。而四道河和邓家畈面理化含榴花岗岩中的锆石,均为变质锆石和具有老核(继承锆石)新壳的变质复合锆石(图 6 和图 7)表明其寄主岩是变质作用的产物;定年结果还表明,老核(继承锆石)多为岩浆碎屑锆石,而且又是多时代的(元古代到古生代)等,暗示其寄主岩——面理化含榴花岗岩是沉积岩变质的。

4.3 面理化含榴花岗岩成岩和原岩时代

由于面理化含榴花岗岩的原岩是沉积岩,因此变质时间(面理化的时间)也就是它的成岩时间。根据锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果(图 8 和图 10),变质复合锆石的新壳(变质锆石),获得了 240 Ma 左右的超高压变质时间,也就是面理化含榴花岗岩的成岩时间,属于印支期,相当早—中三叠世。继承锆石的时代,既有属于元古代的年龄(807~569 Ma),又有属于古生代的年龄(534~276 Ma)。比较多的古生代继承锆石的存在,暗示四道河地区面理化含榴花岗岩的原岩(沉积岩)时代不会早于古生代。这一结果与该区高压变质带中榴辉岩的围岩(变沉积岩)中锆石的定年结果完全一致(杨赛红等 2009)。

5 结 论

(1) 四道河地区面理化含榴花岗岩,是沉积岩变质而成。

(2) 沉积岩通过变质作用,可以形成与岩浆成因的碱性(A 型)花岗岩在元素地球化学上一致的特点。

(3) 四道河地区面理化含榴花岗岩的原岩沉积岩,时代不会早于古生代。

致谢:中国科学院广州地球化学研究所孙卫东研究员、涂湘林研究员等协助 U-Pb 年龄测定并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- 湖北省地质矿产局. 1990. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社: 7-44.
- 涂湘林, 张红, 邓文峰, 凌明星, 梁华英, 刘颖, 孙卫东. 2011. Resolution 激光剥蚀系统在微量元素原位微区分析中的应用. 地球化学, 40(1): 83-98.
- 夏斌, 林清茶, 张玉泉. 2006. 广东罗定龙塘碱性花岗岩锆石 SHRIMP 定年及地质意义. 地质科学, 41(3): 511-517.
- 夏斌, 王敏, 张玉泉, 李建峰, 黄强太, 王洪, 刘立文, 李贺, 董春艳. 2011. 江苏东海片麻状碱性花岗岩地质地球化学及其年代学研究. 地质学报, 85(9): 1464-1476.
- 徐树桐, 吴维平. 1998. 大别山东部榴辉岩带中的变质花岗岩及其大地构造意义. 岩石学报, 14(1): 42-59.
- 鄢全树, 钟增球, 周汉文. 2005. 大别超高压变质地体四道河地区岩石学研究. 岩石矿物学杂志, 24(3): 186-196.
- 杨赛红, 吴元保, 刘小驰, 汪晶, 彭敏, 焦文放. 2009. 西大别湾高压变质带沉积岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 地球科学, 34(1): 179-188.
- 张宏飞, 钟增球, 高山, 张本仁, 李惠民. 2001. 大别山西部面理化含榴花岗岩锆石 U-Pb 年龄. 科学通报, 46(10): 843-846.
- 张利, 钟增球, 张本仁, 刘勇胜, 胡圣虹. 2004. 桐柏-大别造山带高压变质单元面理化(含榴)花岗岩地球化学及其对岩石成因的限制. 地球化学, 33(3): 232-241.
- 张玉泉, 夏斌, 梁华英, 刘红英, 林清茶. 2004. 云南大平糜棱岩化花岗岩的锆石特征及其地质意义. 高校地质学报, 10(3): 378-384.
- 张玉泉, 谢应雯. 1994. 青藏高原及邻区富碱侵入岩——以苦干子和太和二岩体为例. 中国科学(B辑), 24(10): 1102-1108.
- 钟增球, 张宏飞, 索书田, 游振东. 1999. 大别超高压变质岩折返过程中的部分熔融作用. 地球科学, 24(4): 393-399.
- Cox K G, Bell J D and Pankhurst R J. 1979. The interpretation of igneous rocks. London: George, Allen and Unwin: 445
- Petro W L, Vogel T A and Wilband J T. 1979. Major-element chemistry of plutonic rock suites from compressional and extensional plate boundaries. *Chem Geol*, 26: 217-235.
- Sorensen H. 1974. The Alkaline Rocks. London John Wiley and Sons: 15-24.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes//Saunders A D and Norry M J. Magmatism in the ocean basins. *Geological Society, London, Special Publications*, 42: 313-345.
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis. London: Unwin Hyman: 13-34.

Petrogenesis of the Garnet-Bearing Granites in the Sidaohe Region, Macheng City, Hubei Province

ZHANG Futie^{1,2,3}, XIA Bin^{1,4}, ZHANG Yuquan¹, HUANG Qiangtai^{1,2},
ZHANG Hong^{1,2} and LI He^{1,2}

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Geological Survey Institute of Guangdong Nonferrous Metals Geological Survey Bureau, Guangzhou 510080, Guangdong, China; 4. School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China)

Abstract: Field and laboratory studies show that the foliated garnet-bearing granites from the Sidaohe region were derived from the Paleozoic sedimentary rocks through metamorphism. Geochemical characteristics of the garnet-bearing granites are similar to those of the typical alkali granites, i. e., rich in silicon ($\text{SiO}_2 = 75.24\% \sim 77.23\%$), alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6.87\% \sim 8.84\%$) and poor in aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.00\% \sim 12.78\%$). The rocks are rich in lithophile trace elements (Rb, Ba, Th, U) and poor in HFS elements (Nb, Ta, Zr, Hf). The rocks are relatively rich in LREE ($\sum \text{REE} = 101.08 \sim 180.1 \mu\text{g/g}$, LREE/HREE = 3.1 ~ 6.8) showing moderate negative Eu anomalies. Genetic types and ages of the zircons from garnet-bearing granites demonstrate that they are inherited zircons in sedimentary rocks formed no earlier than Paleozoic.

Keywords: geochemistry and zircon U-Pb age; garnet-bearing granites; Sidaohe region; Macheng city, Hubei province