

广东乌石岩体的地质地球化学 特征及形成时代

黄友义 庄文明[✓] 陈绍前 王凤花

(广东省佛山地质局, 佛山 528000)

文 摘 发育于广东佛冈岩体中部的乌石岩体岩性为石英闪长岩, 其岩石化学和微量元素地球化学特征表现为华南同熔型花岗岩类的特征。乌石岩体的 Sm-Nd 等时线和 Rb-Sr 等时线年龄分别为 $(206 \pm 26) \times 10^6$ a 和 $(198 \pm 1.3) \times 10^6$ a, 成岩时代为晚三叠世; $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.7118, $T_{2\text{DM}}$ 为 1.88 Ga, $\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$ 为 -10.5, 反映其成岩物质来源于古华夏地块, 是地壳成熟度较低的古老地壳部分熔融的产物。

关键词 石英闪长岩 乌石岩体 地质地球化学特征 形成年代 Nd、Sr 同位素 广东

广东佛冈岩体为一大型复式岩体, 前人研究认为该岩体主要为中侏罗世—早白垩世的一套中酸性花岗岩类, 岩性以二长花岗岩为主, 另见少量的花岗闪长岩, 局部地段保留有中侏罗世的石英闪长岩残留体^[1]。

乌石岩体是新近发现的岩体 (位于佛冈岩体的中心部位), 分布于从化东北部的乌石村一带 (图 1), 被晚侏罗世的二长花岗岩所侵入; 出露面积约 4 km², 为一规模较小的石英闪长岩岩体 (残留体)。其邻近地区还存在数个相同岩性的小残留体。

1 岩石学特征

1.1 主要造岩矿物特征

乌石岩体主体岩性为石英闪长岩, 具中细粒结构, 块状构造, 岩石蚀变较轻, 新鲜岩石为深灰—灰黑色。其中斜长石粒度 0.5~3 mm, 含量 45%~55%, 自形程度普遍较高, 具环带构造 (内 $An=55$, 外 $An=20$), 少数环带中心具轻微的绢云母化, 另外可见聚片双晶和卡钠复合双晶; 石英含量 15%~20%, 呈极不规则状分布于斜长石和暗色矿物之间 (暗色矿物粒度为 0.5~5 mm); 角闪石含量 15%~25%, 一般呈柱状、柱粒状晶形, 晶形较大的往往为不规则状, 且晶体中常包嵌有自形的斜长石; 黑云母含量 10%; 普通辉石 2%~5%, 个别较大的辉石晶体亦可见包嵌有自形斜长石的现象。

本文 2000 年 5 月收到, 6 月改回。

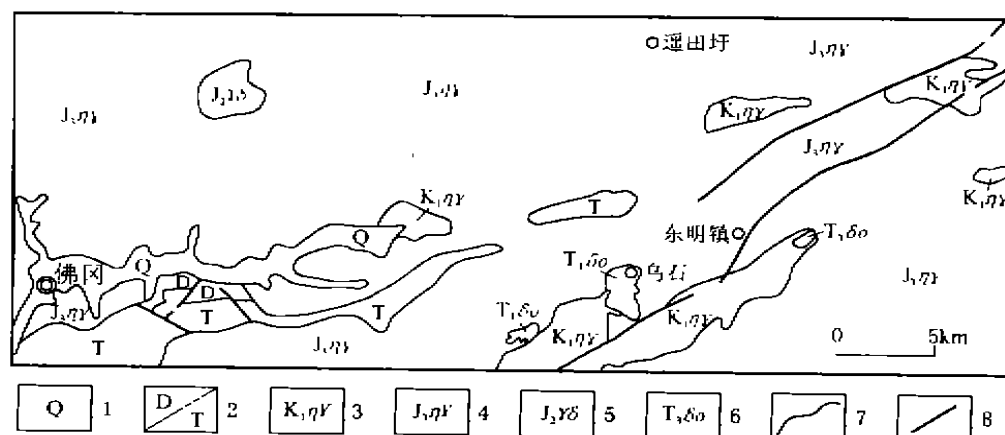


图1 佛冈岩体中部地质略图

Fig.1 Simplified geologic map of middle part of Fogang pluton

1 第四系; 2 泥盆系/三叠系; 3 早白垩世二长花岗岩; 4 晚侏罗世二长花岗岩;
5 中侏罗世花岗闪长岩; 6 晚三叠世石英闪长岩; 7 地质界线; 8 断层

此外,在岩体的个别地方可见到英云闪长岩。与石英闪长岩相比,英云闪长岩的颜色更深(一般呈黑色),粒度较细;大部分造岩矿物在0.2~1 mm之间,具细粒结构,块状构造。其中含斜长石45%~50%,石英20%~25%,黑云母15%~20%,角闪石15%~25%;个别斜长石和暗色矿物可形成斑晶,粒径1.5~4 mm。由于分布极为局限,以下的其他特征论述仅指石英闪长岩。

1.2 副矿物特征

乌石岩体副矿物总量很高,达 5818.48×10^{-6} (表1),但副矿物种类较少,副矿物组合属磁铁矿—钛铁矿—磷灰石组合类型。

锆石晶形绝大多数为{110}柱面发育的复第一正方柱状双锥体,简单晶形出现不多,极少数为{100}柱面发育的第二正方柱状双锥体,个别有连生或断裂现象。

表1 乌石岩体副矿物含量

Table 1 Accessory mineral content of Wushi pluton

	磁铁矿	钛铁矿	黄铁矿	磷灰石	锆石	钼石	绿帘石	褐帘石	榍石	石榴石	总量
乌石岩体	1485.33	1431.94	876.39	556.94	244.44	+	1131.94	+	87.50	+	5818.48

注:含量单位为 10^{-6} ,+表示微量(分析单位为广东省佛山地质局实验室)。

2 岩石化学特征

乌石岩体的岩石化学分析结果及特征参数见表2。与中国主要岩浆岩中石英闪长岩的平均化学成分^[2]相比,乌石岩体的 SiO_2 和 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 偏低(分别为54.77%和3.99%),而铁镁组分偏高;分异指数($DI=39.07$)较低,而固结指数($SI=26.42$)较高,反映乌石岩体的岩浆结晶分异程度较低; $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (分子比)为0.33,碱度率 $AR=1.38$,表明乌

表2 乌石岩体化学成分及主要参数

Table 2 Chemical composition and main parameters of Wushi pluton

 $w_B/10^{-2}$

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	灼失	总量
乌石岩体	54.77	1.07	17.14	1.60	6.50	0.19	4.34	7.72	2.27	1.72	0.32	1.88	99.52
石英闪长岩 ^[2]	60.51	0.73	16.70	2.84	3.49	0.14	2.54	4.63	3.68	2.65	0.46		
	DI		SI		σ		AR		AIK		R ₁		R ₂
乌石岩体	39.07		26.42		1.35		1.38		3.99		2190.89		1377.54

分析单位: 广东省佛山地质局实验室。

石岩体石英闪长岩属硅酸饱和的钙碱性系列: $Al_2O_3 / (K_2O + Na_2O + CaO)$ (分子比) 为 0.87, 属“I”型花岗岩的范围。在 Batcher 等 (1985) 的 R_1 - R_2 多阳离子图解中, 乌石岩体投点位于“板块碰撞前”范围内。

3 微量元素和稀土元素地球化学特征

3.1 微量元素特征

与华南花岗岩类微量元素平均值^[3]相比, 乌石岩体的微量元素含量 (表 3) 大多偏低, 其中 Rb、Nb、Li 等亲石元素偏低较明显, 而 Co、V、Ba 等亲铁元素含量较高; Rb/Sr 和 K/Rb 值与刘英俊^[4] (1986) 所划分的同熔型花岗岩的比值接近。

表3 乌石岩体微量元素含量及比值

Table 3 Trace element contents and ratios of Wushi pluton

 $w_B/10^{-6}$

	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Nb	Be
乌石岩体	0.6	1.9	0.9	0.08	32.0	7.0	104	14.1	9.4	22.2	210	8.8	3.9
华南花岗岩类 平均值(1979)	3.5	32			33			41		3	30	29	4.2
	Li	Rb	Sr	Ba	As	Sb	Zr	Au	Ag	Sr/Ba	K/Rb	Rb/Sr	
乌石岩体	28	95	260	370	3.09	0.38	99	0.26	1.3	0.70	150.3	0.37	
华南花岗岩类 平均值(1979)	78	279	159	254									

分析单位: 广东省佛山地质局实验室(Au 的单位为 10^{-9})。

3.2 稀土元素特征

乌石岩体 5 个样品的稀土元素总量介于 $(153.42 \sim 169.49) \times 10^{-6}$ 之间 (表 4), $(La/Yb)_N = 5.84 \sim 7.09$, 说明轻重稀土分异程度较强, $\delta Eu = 0.53 \sim 0.64$, 铕负异常属中等, 乌石石英闪长岩稀土元素分布型式为具中等铕负异常的向右倾斜的曲线 (图 2)。

重砂分析表明: 乌石石英闪长岩副矿物含量较高 (达 0.58%), 但富 LREE 的副矿物仅见褐帘石, 且为微量, 富 HREE 的副矿物锆石及含稀土的磷灰石、榍石等含量低。将乌石石英闪长

表4 乌石岩体稀土元素含量及参数

Table 4 REE contents and parameters of the Wushi pluton

 $w_B/10^{-6}$

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
0002	24.4	50.3	7.59	21.8	6.180	1.18	6.74	0.765	4.95	1.11
0002 ⁻¹	28.8	55.9	7.98	22.5	5.059	1.37	7.48	0.825	5.63	1.21
0002 ⁻²	27.7	51.7	7.42	23.6	6.030	1.18	6.36	0.727	4.77	1.06
0002 ⁻³	25.5	47.3	7.49	23.7	6.440	1.15	6.99	0.761	5.23	1.16
0002 ⁻⁴	29.7	52.6	7.90	28.4	4.391	1.14	6.84	0.753	5.06	1.13
样号	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	Σ Ce/ Σ Y	δ Eu	$(La/Yb)_N$	$(Eu/Sm)_N$
0002	2.36	0.461	2.75	0.465	23.4	154.45	2.59	0.56	5.58	0.51
0002 ⁻¹	2.70	0.482	2.86	0.469	26.2	169.49	2.54	0.69	6.63	0.72
0002 ⁻²	2.35	0.447	2.68	0.462	22.7	159.19	2.83	0.58	6.81	0.52
0002 ⁻³	2.40	0.476	2.84	0.483	21.5	153.42	2.67	0.53	5.91	0.47
0002 ⁻⁴	2.43	0.460	2.76	0.477	22.2	166.24	2.95	0.64	7.09	0.69

分析单位：南京大学现代分析中心。

岩样品数据在 $La/Sm-La$ 图解上投点, 样品点呈部分熔融趋势 (图 3 A); 在 $(La/Sm)_N-(Sm)_N$ 图解中, 乌石样品投点处于同榴辉岩与角闪岩之间的残留体相平衡的部分熔融的演化趋势上 (图 3 B)。

4 钕锶同位素特征

乌石岩体石英闪长岩全岩 Nd、Sr 同位素分析结果见表 5, 全岩 Sm-Nd 等时线和 Rb-Sr 等时线图见图 4。乌石石英闪长岩全岩 Sm-Nd 等时线和 Rb-Sr 等时线年龄分别为 (206

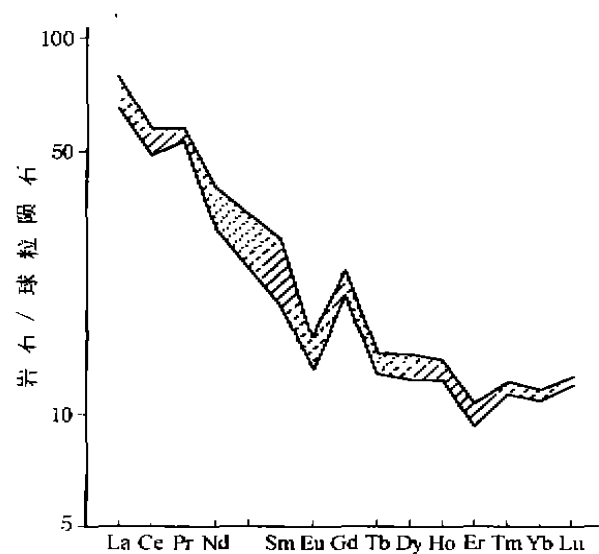


图2 乌石岩体稀土元素分布型式

Fig.2 REE distribution pattern of Wushi pluton

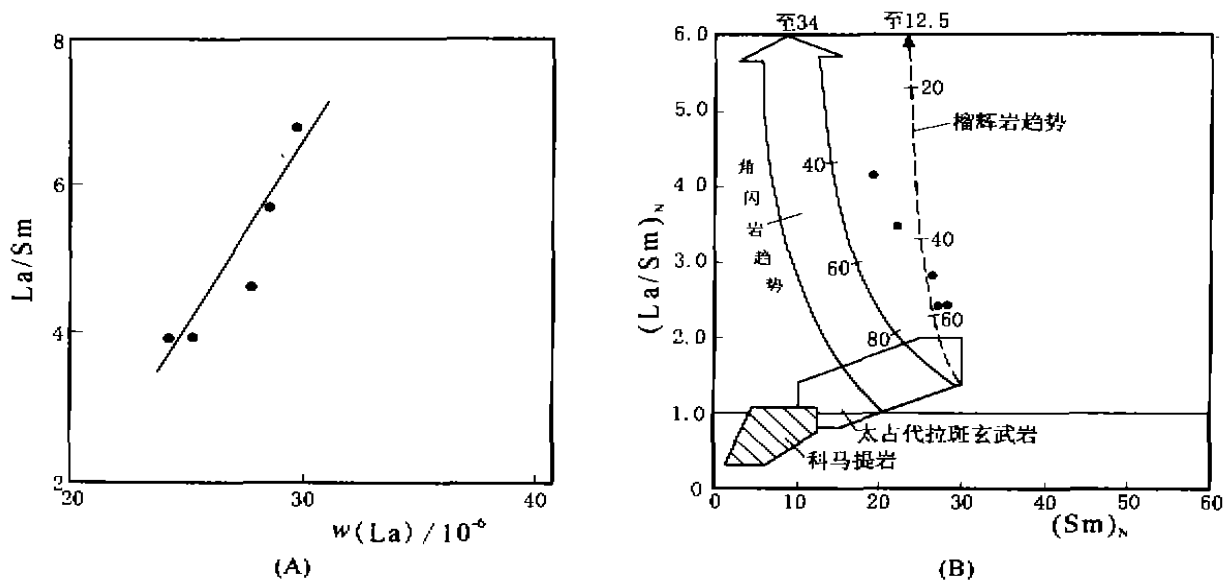
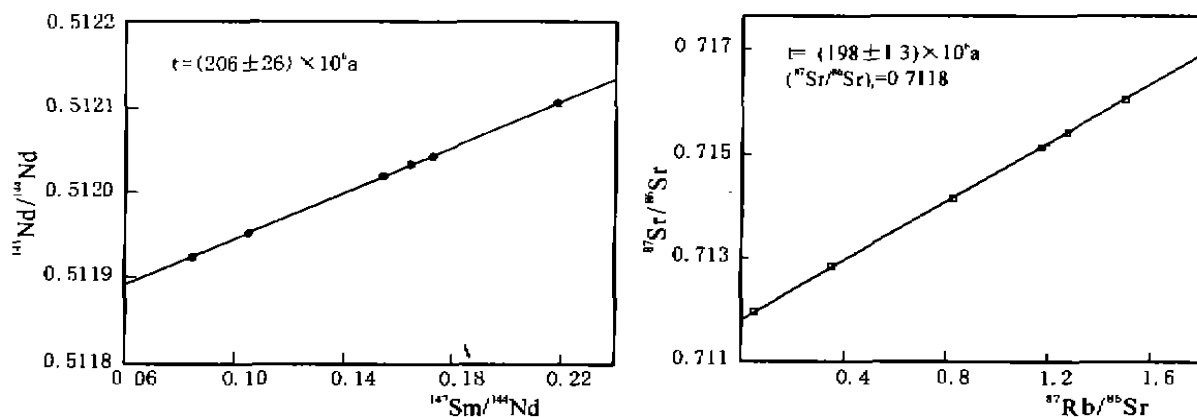
图3 乌石岩体 La/Sm - La 及 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ - $(\text{Sm})_N$ 图解^[5]Fig.3 La/Sm vs. La and $(\text{La}/\text{Sm})_N$ vs. $(\text{Sm})_N$ diagram of Wushi pluton

图4 乌石岩体 Sm-Nd 和 Rb-Sr 全岩等时线

Fig.4 Sm-Nd and Rb-Sr whole rock isochrons of Wushi pluton

$\pm 26) \times 10^6$ a 和 $(198 \pm 1.3) \times 10^6$ a, 岩石 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.7118, $T_{2\text{DM}}$ (二阶段模式年龄) 为 1.88 Ga, $\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$ 为 -10.5, $\epsilon_{\text{Sr}}^{(t)}$ 为 +104。这说明乌石岩体岩石属中等锆花岗岩类, 其 Nd、Sr 同位素具徐克勤等 (1989) ^[4] 划分的陆壳改造型花岗岩特征。

陈江峰等 (1999) ^[6] 研究总结了我国东南大陆地壳演化的 Nd 同位素特征, 认识到在政和一大埔断裂以西和板溪群分布地区以南的华夏地块 $T_{2\text{DM}}$ 为 2.7~1.6 Ga, 平均 1.84 ± 0.07 Ga。乌石岩体的 $T_{2\text{DM}}$ 值基本与华夏地块一致, 反映其成岩物质来源于古老地壳, 乌石岩体 Nd 同位素的 $\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$ - t 图 (图 5) 投点结果支持了上述认识。

表5 乌石岩体同位素测定结果

Table 5 Result of isotopic measurement for Wushi pluton							
样号	Sm (10^{-6})	Nd (10^{-6})	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	误差 (2σ)	$T_{2\text{DM}}$ (Ga)	$\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$
0002	6.091	22.03	0.1714	0.512041	± 18	1.88	-10.5
0002 ⁻¹	5.097	29.34	0.1051	0.511952	± 16		
0002 ⁻²	5.926	22.75	0.1546	0.512019	± 22		
0002 ⁻³	6.207	21.78	0.1647	0.512032	± 15		
0002 ⁻⁴	4.058	28.89	0.08502	0.511923	± 17		
0002 ⁻⁵	1.585	4.368	0.2195	0.512104	± 19		
样号	Rb (10^{-6})	Sr (10^{-6})	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	误差 (2σ)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$	$\epsilon_{\text{Sr}}^{(t)}$
0002	99.87	248.1	0.3558	0.712797	± 16	0.7118	+104
0002 ⁻¹	80.26	282.5	0.8307	0.714134	± 17		
0002 ⁻²	102.4	259.2	1.174	0.715103	± 15		
0002 ⁻³	114.2	263.3	1.278	0.715394	± 14		
0002 ⁻⁴	124.7	244.8	1.503	0.716027	± 18		
0002 ⁻⁵	4.951	287.6	0.0503	0.711937	± 22		

注: ①分析单位: 南京大学现代分析中心;

② $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 采用美国 La Jolla Nd 标准(0.511864 ± 8); $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 采用美国 NBS987 Sr 标准(0.710223 ± 11);

$$T_{2\text{DM}} = \frac{1}{\lambda} \times \ln \left[\frac{^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - 0.118) \times (e^{\lambda t} - 1) - 0.513151}{0.118 - 0.2137} + 1 \right]$$

$$\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)} = \left[\frac{f(\text{Nd})}{0.512638 - 0.1967 \times (e^{\lambda t} - 1)} - 1 \right] \times 10^4 \quad \epsilon_{\text{Sr}}^{(t)} = \left[\frac{f(\text{Sr})}{0.7045 - 0.0816 \times (e^{\lambda t} - 1)} - 1 \right] \times 10^4$$

5 结论

乌石岩体石英闪长岩形成于晚三叠世, 岩石化学、微量元素地球化学具有同熔型花岗岩类的特征; 稀土元素地球化学特征研究表明, 乌石岩体是与榴辉岩和角闪岩之间的残留体相平衡的部分熔融的产物; Nd、Sr 同位素则体现了改造型花岗岩特征。同时, 华南大区域对比表明, 乌石岩体成岩物质为元古代地壳。

因此, 乌石石英闪长岩极可能是经受了角闪岩至榴辉岩相变质的地壳成熟度较低的元古代地壳经部分熔融作用形成的。同时也说明, 华夏古陆可能经受了中高级变质作用。

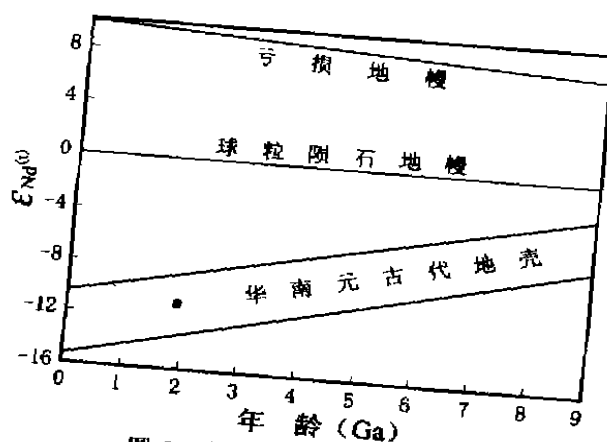


图5 乌石岩体 $\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$ -t 图^[7]

Fig.5 $\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$ vs. t diagram of Wushi pluton

6 参考文献

- 1 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1988
- 2 武汉地质学院. 岩浆岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1981
- 3 中国科学院贵阳地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学. 北京: 科学出版社, 1979
- 4 高秉璋, 洪大卫, 郑基俭, 等. 花岗岩类区 1:5 万区域地质填图方法指南. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991
- 5 陈德潜, 陈刚. 实用稀土元素地球化学. 北京: 冶金工业出版社, 1990
- 6 陈江峰, 江博明. 钕、铈、铅同位素示踪和中国东南大陆地壳演化. 见: 郑永飞主编. 化学地球动力学. 北京: 科学出版社, 1999, 262~287
- 7 沈渭洲, 凌洪飞. 钕同位素在花岗岩研究中的应用—以华南花岗岩为例. 南京大学学报(地球科学), 1990, 26(2)

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND AGES OF THE WUSHI PLUTON OF GUANGDONG

Huang Youyi, Zhuang Wenming, Chen Shaoqian and Wang Fenghua

(Foshan Geological Bureau of Guangdong Province, Foshan 528000)

Abstract Developed in the middle part of the Fogang composite pluton of Guangdong, the Wushi pluton is composed quartz diorite, displaying the character of a syntaxis type of south China in petrochemistry and trace element geochemistry. The Sm-Nd and Rb-Sr isochron ages of Wushi pluton are $(206 \pm 26) \times 10^6$ a and $(198 \pm 1.3) \times 10^6$ a respectively, which can be attributed to the Late Triassic Epoch. Its $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7118$, $T_{2\text{DM}} = 1.88$ Ga and $\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)} = -10.5$, suggesting that the source rock was derived from the Old Cathaysia Massif. The Wushi pluton is a product of partial melting of the low-maturity old crust.

Keywords quartz-diorite Wushi pluton geological-geochemical characteristics age
Nd and Sr isotope Guangdong