武夷山洋坊霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义

王 强① 赵振华① 简 平② 熊小林① 马金龙① 包志伟①

(①中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; ②中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037. E-mail: wqiang@gig.ac.cn)

摘要 武夷山地区是华南过铝质花岗岩的重要分布区. 近期的研究表明, 该区存在碱性或富碱侵入岩. 武夷山洋坊霓辉石正长岩的元素地球化学特征显示其为过碱性侵入岩, 强烈富轻稀土和 K, Ba, Ga, Zr, Y 等元素, 轻重稀土元素强烈分异, 具有 A 型花岗岩的一些特征; 锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄研究显示, 15 个分析点给出 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 233~249 Ma, 加权平均值为 242 ± 4 Ma, 记录了霓辉石正长岩的结晶年龄. 这表明: (1)华南存在早三叠世(242 ± 4 Ma)的过碱性侵入岩; (2)在印支早期, 华南局部可能存在伸展作用. 武夷山早三叠世过碱性侵入岩的发现为进一步研究华南"印支运动"的特点提供了新的思路.

关键词 SHRIMP U-Pb 年龄 印支期 碱性岩浆岩 伸展 华南

碱性岩浆岩因其产出的特殊构造背景(与伸展活动有关)和与铜金成矿的密切关系而受到普遍关注[1~3]. 我国华南许多地区(如闽浙沿海[1,2,4,5]、赣南[6]、粤中[7]、桂东南[8,9]以及湘中[10], 等等)存在一些碱性岩浆岩. 同位素年代学的资料[5~10]显示, 上述碱性岩浆岩都形成于中生代, 其中最早的形成于燕山早期(如湖南 178~177 Ma 板内碱性玄武岩[10]), 但是在华南至今未见有印支期碱性岩浆岩的报道. 在整个中国东部, 也仅仅在燕辽-阴山和东北地区发现有印支期碱性侵入岩[11,12]. 我们最近在华南过铝质花岗岩的重要分布区——武夷山地区发现有(过)碱性或富碱侵入岩出露, 如洋坊霓辉石正长岩、铁山黑榴石正长岩、大沅村钠闪石花岗岩、圆岱辉石正长岩等[13]. 这次锆石 SHRIMP 年代学研究表明, 武夷山地区地区存在有早三叠世的碱性岩浆岩. 本文将报道位于武夷山中段——福建明溪地区的洋坊霓辉石正长岩的 SHRIMP U-Pb 年龄和元素地球化学资料, 并初步探讨其动力学意义.

1 地质背景及岩石特征

研究区位于政和-大埔断裂带以西、石城-崇安断裂带以东的武夷山地区, 北东向的浦城-武平断裂带从研究区穿过(图 1). 洋坊岩体出露于福建明溪县城东北侧, 由 3 个小侵入体组成, 侵入体的长轴都呈北东向展布, 总面积约 8 km^2, 岩体侵入于晚古生代石炭纪、二叠纪沉积地层中, 其南部被新生代火山岩所覆盖(图1). 洋坊岩体主要由霓辉石正长岩和正长岩组成. 本文用于 SHRIMP U-Pb 年龄测定的岩石样品为取自洋坊鬼头山的霓辉石正长岩, 岩石具有细中粒结构, 局部具有似斑状或文象结构, 由钾长石、霓辉石和少量石英组成, 钾长石的出溶结构和霓辉石的环带结构非常发育(矿物成分及结构特征见文献[13]). 洋坊岩体的副矿物种类较多, 主要为榍石、磁铁矿, 次为磷灰石、褐帘石、独居石、锆石以及烧绿石等, 此外, 人工重砂还发现洋坊岩体中有钍石、凤凰石以及方钍石等[1)].

2 分析方法

锆石按常规重力和磁选方法分选, 最后在双目显微镜下挑纯. 将锆石与数粒 RSES 参考样 TEM 置于环氧树脂中, 然后磨至约一半大小, 使锆石内部暴露, 用于背散射电子图像及 SHRIMP U-Pb 分析. 锆石背散射研究在中国地质科学院矿床地质研究所电子探针研究室完成. SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院地质研究所 SHRIMP II上完成, 详细分析流程和原理参考文献[14,15]. 应用 RSES 参考锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正(interelement fractionation). 应用 SL13(年龄, 572 Ma; U 含量, 238 μg/g)标定样品的 U, Th 和 Pb 含量. 数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISOPLT 程序. 应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅. 采用年龄为 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄, 其加权平均值为 95%的置信度. 分析结果见表 1.

1) 地质部福建地质局. 1∶20 万区域地质矿产调查报告(三明幅 G-50-[illegible]). 1966. 64

万方数据

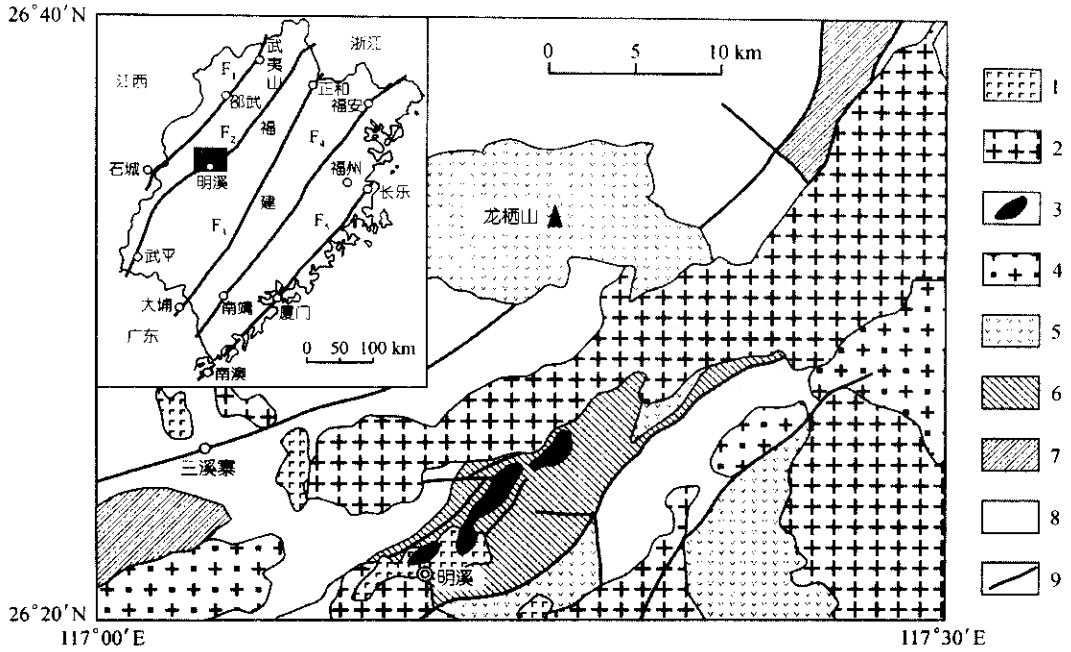


图 1　福建明溪地区地质简图

1. 新生代火山岩; 2. 燕山晚期期花岗岩; 3. 过碱性正长岩; 4. 志留纪花岗岩; 5. 燕山晚期火山岩; 6. 早古生代沉积地层; 7. 晚古生代(石炭纪、二叠纪)沉积地层; 8. 元古界; 9. 断裂. F1: 石城-崇安断裂带; F2: 浦城-武平断裂带; F3: 政和-大埔断裂带; F4: 福安-南靖断裂带; F5: 长乐-南澳断裂带

表 1　洋坊霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分析结果 a)

测点号	^{206}Pbc/%	U/μg·g^{-1}	Th/μg·g^{-1}	^{232}Th/^{238}U	^{206}Pb/μg·g^{-1}	^{206}Pb/^{238}U 年龄/Ma	^{207}Pb*/^{206}Pb*(%)	^{207}Pb*/^{235}U(%)	^{206}Pb*/^{238}U(%)
A4.1	0.45	1614	83	0.05	54	245 ± 6	0.05490 (1.9)	0.2930 (3.1)	0.03870 (2.5)
A5.1	0.22	3830	6708	1.81	126	242 ± 6	0.05122 (1.3)	0.2704 (2.8)	0.03829 (2.5)
A6.1	0.42	2792	3324	1.23	94	248 ± 6	0.05199 (1.3)	0.2810 (2.8)	0.03920 (2.5)
A7.1	–	3897	6995	1.85	130	245 ± 6	0.05165 (1.1)	0.2760 (2.7)	0.03875 (2.5)
A8.1	–	4876	8451	1.79	161	243 ± 6	0.05241 (1.1)	0.2771 (2.7)	0.03834 (2.5)
A9.1	0.23	3822	8914	2.41	124	239 ± 6	0.05069 (1.2)	0.2643 (2.7)	0.03781 (2.5)
A10.1	0.49	3313	1631	0.51	108	240 ± 6	0.05152 (1.5)	0.2695 (2.9)	0.03794 (2.5)
A11.1	0.05	5505	1306	0.25	192	256 ± 6	0.05161 (0.9)	0.2886 (2.7)	0.04060 (2.5)
A12.1	–	4136	8568	2.14	136	241 ± 6	0.04997 (1.2)	0.2626 (2.8)	0.03812 (2.5)
A13.1	0.10	5072	1115	0.23	172	248 ± 6	0.05199 (1.3)	0.2815 (2.8)	0.03926 (2.5)
A14.1	–	4955	9625	2.01	160	237 ± 6	0.05103 (1.1)	0.2636 (2.7)	0.03747 (2.5)
A15.1	0.13	3555	787	0.23	116	240 ± 6	0.05103 (1.3)	0.2665 (2.8)	0.03788 (2.5)
A16.1	–	4689	6405	1.41	152	238 ± 6	0.05084 (1.1)	0.2633 (2.7)	0.03756 (2.5)
A17.1	0.08	3290	6239	1.96	106	236 ± 6	0.05240 (1.9)	0.2697 (3.1)	0.03733 (2.5)
A18.1	0.28	5358	8159	1.57	170	233 ± 6	0.05072 (1.3)	0.2576 (2.8)	0.03684 (2.5)

a)　误差为 1 ; Pbc 和 Pb* 分别为普通和放射成因 Pb. 标准的误差是 0.33%. 普通 Pb 用测量的 ^{204}Pb 校正

岩石化学分析在湖北地矿局湖北地质实验研究所进行. 微量、稀土元素在中国科学院地球化学研究所用 ICP-MS 分析, 大多数元素分析的相对标准偏差 RSD<5%, 少量元素的 RSD<10%.

3　分析结果

样品中锆石的背散射(BSE)图像显示, 这些锆石大多呈港湾状、筛孔状, 且裂纹发育; 一些颗粒发育典型的的韵律环带结构, 反映了岩浆成因锆石的结构特点(图 2). 锆石 U, Th 含量高, 15 个分析点的 U, Th 平均含量分别为 4047, 5221 μg/g, U/Th 平均值为 1.0 (表 1). 锆石的 SHRIMP U-Pb 测年结果显示, 99FJ031 样品中锆石 15 个分析点的 ^{206}Pb/^{238}U 年龄为

万方数据
www.scichina.com

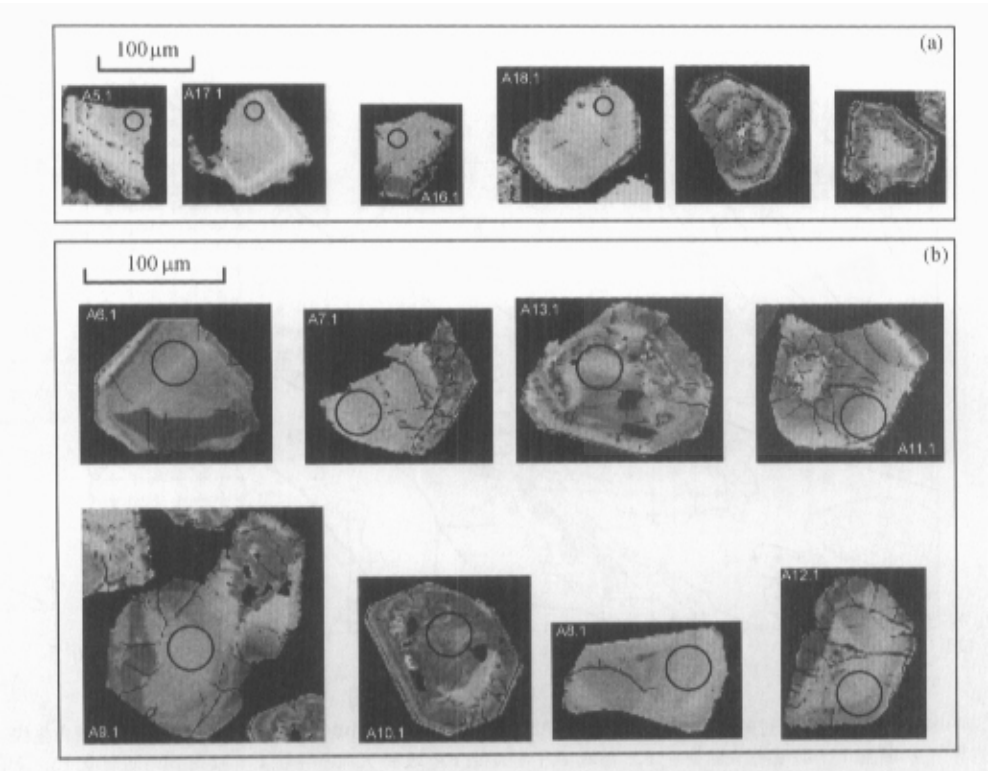


图 2 洋坊霓辉石正长岩(99FJ031)中部分锆石的形态特征及分析点位置

233~249 Ma, 变化范围小. 在一致曲线图中, 数据点成群分布(图 3). 其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 242 ± 4 Ma (n = 15), 记录了霓辉石正长岩的结晶年龄.

洋坊侵入岩的元素地球化学分析数据见表 2. 从表 2 中可以看出, 该侵入岩为中性(SiO_2 = 58.53%~64.39%), 富碱 (Na_2O+K_2O = 10.13%~12.59%) 富钾 (K_2O/Na_2O = 1.12~2.93), 它们的 NKA (= (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3)$_{分子数}$为 1.01~1.05, 为典型的过碱性岩浆岩. 洋坊侵入岩与我国的一些典型碱性岩(如赛马霓霞正长岩[16])的稀土元素特征类似, 其稀土元素总量很高 (ΣREE = 655.88~3827.71 μg/g), 并强烈富集轻稀土元素(ΣLREE = 601.14~3711.59 μg/g), 轻重稀土元素分异明显(ΣLREE/ΣHREE = 11~32), 没有明显铕异常-微弱负异常(Eu/Eu* = 0.77~0.83)(图 4(a)). 侵入岩中高的轻稀土元素含量和强烈分异的轻重稀土元素特征可能与侵入岩中富含褐帘石、烧绿石等副矿物有关. 侵入岩也强烈富 Ba (2876~7138 μg/g), Ga (21~29 μg/g), Zr (128~499 μg/g), Y (34.87 ~ 158.82 μg/g), 但在微量元素蛛网图解上仍有 Nb, Ta, Ti 亏损 (图 4(b)). 洋坊侵入岩微量元素不同于不同于 M, I, S 型花岗岩, 而显示出一些与 A 型花岗岩类似的特征 (图 5).

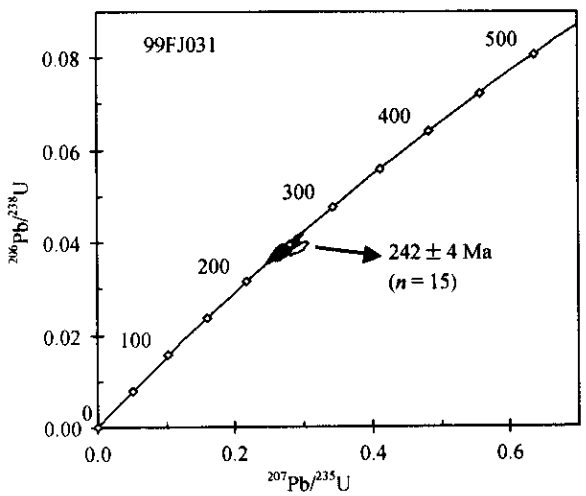


图 3 洋坊霓辉石正长岩(99FJ031)中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

4 讨论与结论

华南中生代的大地构造演化是国内外学术界长期激烈争论的热点问题. 这些问题包括华南中生代

万方数据

的大地构造背景是安第斯型活动大陆边缘[18]，是阿尔卑斯型碰撞造山带[19]，是巨型左行走滑剪切系[20]，还是“盆岭省”[21,22]，等等. 同时，围绕华南大面积中生代火成岩的成因，一些复合的动力学模式也相继提出，左行走滑断裂+同期裂解[23]、岩石圈消减+玄武岩浆底侵[24]、弧后拉张+岩石圈减薄+玄武岩浆底侵[25]、大洋俯冲+岩石圈拆沉+陆内俯冲+岩浆底侵[26]、大洋俯冲+岩石圈拆沉[27]，等等. 尽管中生代的大地构造演化存在激烈的争论，但华南白垩纪伸展的动力学背景已逐渐为大家所接受. 华南不仅出露有大量白垩纪沉积盆地[23]、A 型花岗岩或碱性岩[1,2,4,5]，而且也发育有许多白垩纪板内基性岩脉[22]和双峰式火山岩[6,28,29]. 最近，一些研究者相继报道了燕山早期的板内碱性玄武岩[10]、裂谷型钾玄质侵入岩[8,9]、双峰式火山-侵入杂岩[6]以及 A 型花岗岩或碱性侵入岩[6,30]，并认为华南中生代的伸展可能始于燕山早期[6,10,30].

表 2 洋坊侵入岩的主量、微量和稀土元素分析结果 a)

样号	99FJ-030	99FJ-031	99FJ-033	99FJ033-2	99FJ033-3
SiO_2	64.39	58.53	62.07	61.50	61.93
TiO_2	0.33	0.77	0.84	0.86	0.84
Al_2O_3	15.94	12.00	15.28	15.08	15.08
Fe_2O_3	1.55	1.73	2.57	2.67	2.62
FeO	1.43	2.77	1.33	1.37	1.40
MnO	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09
MgO	0.72	4.60	1.15	1.16	1.16
CaO	2.23	6.38	1.97	2.31	2.15
Na_2O	5.63	2.76	3.20	3.44	3.40
K_2O	6.28	7.37	9.39	9.34	9.30
P_2O_5	0.14	1.07	0.27	0.28	0.27
H_2O	0.53	0.76	0.49	0.50	0.44
CO_2	0.03	0.06	0.06	0.14	0.11
Σ	99.29	98.91	98.71	98.74	98.79
NKA	1.01	1.04	1.01	1.05	1.04
Ga	29	21	24	23	23
Rb	365	342	434	439	425
Sr	1197	519	865	859	882
Y	159	35	60	61	62
Zr	228	128	499	473	492
Nb	47	22	59	58	55
Ba	2876	5913	7113	7138	6977
La	1157.77	236.71	182.56	199.48	200.67
Ce	1945.95	440.24	366.34	344.40	403.73
Pr	132.00	48.68	38.78	42.42	42.95
Nd	405.08	170.27	145.21	157.27	159.64
Sm	57.56	26.05	27.75	30.50	31.14
Eu	13.24	5.54	6.86	7.41	7.53
Gd	46.92	18.42	22.89	24.32	25.24
Tb	6.28	1.85	2.73	3.04	3.11
Dy	30.69	7.70	12.65	13.76	14.53
Ho	5.23	1.12	1.90	2.13	2.13
Er	13.36	2.75	4.65	4.80	5.32
Tm	1.63	0.31	0.51	0.54	0.55
Yb	10.56	1.94	3.17	3.25	3.41
Lu	1.46	0.28	0.38	0.38	0.45

a) $NKA = ((Na_2O+K_2O)/Al_2O_3)_{分子数}$

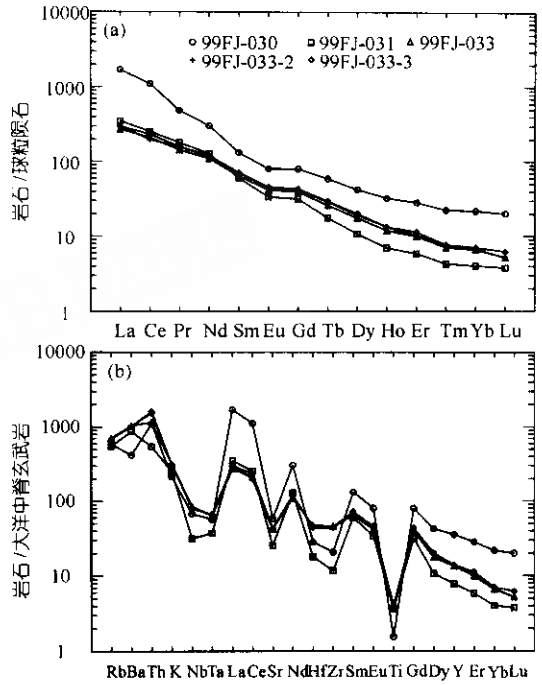


图 4 洋坊侵入岩的稀土元素分配曲线(a)和微量元素蛛网图(b)
标准化数值取自文献[17]

长期以来，在华南一直未见有与伸展有关的印支期岩浆活动的报道. 于津生等人[31]曾经报道广东罗定泗纶混合岩区存在印支期(230 Ma，黑云母钾氩稀释法)的龙塘“碱性花岗岩”，但同时指出该花岗岩在一些主量、微量、稀土元素组成上不同于典型的碱性花岗岩(或 A 型花岗岩)，并认为该花岗岩不是正常岩浆分异晚期的产物，而是变质交代成因的“混合花岗岩”. 本文报道的洋坊霓辉石正长岩具有典型过碱

万方数据

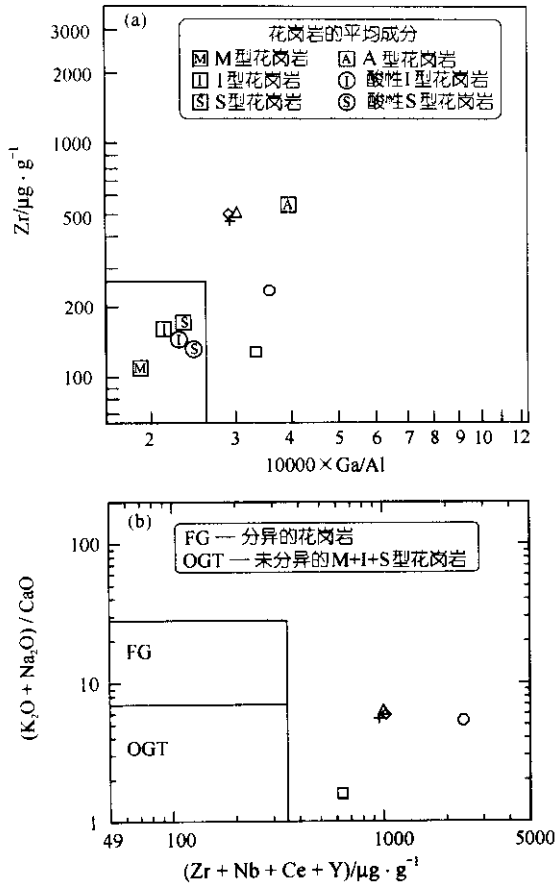


图5 洋坊侵入岩的 10000×Ga/Al - Zr 图解(a)和 Zr + Nb + Ce + Y- (K_2O + Na_2O) / CaO 图解(b)

性岩浆岩的结构和化学成分特征，其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定显示，在华南还存在早三叠世(242 ± 4 Ma)的过碱性岩浆活动. 过碱性岩浆岩大都起源于富集地幔[32]，并且无一例外都形成于伸展的构造环境中(如，碰撞后、裂谷或非造山)[32,33]. 洋坊霓辉石正长岩也很可能起源于地幔，并形成于伸展的环境中. 尽管洋坊霓辉石正长岩的微量元素显示了 Nb, Ta 亏损(图 4(b))，但这很可能与其地幔源区曾经受到古俯冲流体的交代或幔源过碱性岩浆在上升过程中受到地壳沉积物的混染有关[34]. 因此，洋坊早三叠世霓辉石正长岩的存在表明，华南局部在早三叠世可能存在伸展作用.

华南地块印支期的构造演化一直被认为与印支地块和华南地块在三叠纪的碰撞造山活动有关[5,6,19,21,22,35]. 但一些研究认为印支地块和华南地块之间的碰撞造山很可能在中石炭世就已经完成，而不是三叠纪[36]. 还有一些研究表明，在中国西南地区很少有三叠纪的挤压变形和角度不整合(文献[37]及其所引参考文献). 华南虽存在一些中生代的盖层褶皱和推覆构造，但参加上述褶皱和推覆构造的最新地层为三叠系[38]，即这些中生代的挤压逆冲推覆活动可能应发生在三叠纪之后. 另外，华南印支期的花岗岩也一直被认为是与碰撞挤压有关的“S 型花岗岩”，但除了在广西十万大山-大容山出露有印支期堇青石花岗岩[30]外，华南其他区域的印支期花岗岩都不含堇青石，而只是一些过铝质花岗岩[23]. 过铝质花岗岩并不仅仅与碰撞挤压有关，如欧洲海西褶皱带和澳大利亚 Lachlan 褶皱带中碰撞后的强过铝质花岗岩就形成于伸展环境[39]. 郭峰等人[40]认为湖南印支期花岗岩的形成可能与区内印支期幔源玄武质岩浆对中下地壳的烘烤所导致的地壳重熔有关，而并非碰撞挤压所形成. 王岳军等人[41]认为湖南印支期过铝质花岗岩的形成与玄武质岩浆的底侵有关. 水涛[42]则认为华夏古陆在加里东期后~印支期扩张裂陷作用加剧，并且这种拉裂作用持续到燕山期. Faure 等人[43]和舒良树等[44]认为江西武功山穹隆伸展构造开始于三叠纪(225~230 Ma). Carter 等人[37]认为亚洲东南部的“印支造山作用”同 Sibumasu 地块向印支-华南地块在 258 ± 6 ~ 243 ± 5 Ma 期间的斜向汇聚有关，造山期间的高温变质作用随着区域快速剥露而在 243 ± 5 Ma 时结束，而快速剥露的原因很可能与斜向汇聚初始阶段的转换挤压应力场向汇聚期间的转换拉伸(由Sibumasu-印支-华南地块的顺时针旋转引起)应力场转变有关.

武夷山洋坊霓辉石正长岩的形成时代(242 ± 4 Ma)与亚洲东南部的“印支造山作用”结束的时间(243 ± 5 Ma)非常一致. 由于在亚洲东南部的“印支造山作用”临近结束时区域应力场可能出现由转换挤压向转换拉伸的转变[37]，因此在远离碰撞带的武夷山地区有可能出现伸展作用. 近期的一些研究者强调了北东向左行走滑断裂系统在华南中生代构造演化中的作用[23,45]，尽管中国东部的这些走滑断裂系统的形成时代还存在前寒武纪[46]、印支期[47]和燕山期之争[20]. Gilder 等人[23]通过对华南中生代花岗岩、沉积盆地以及古地磁的研究提出了华南中生代构造演化的“左行走滑断裂+同期裂解”的构造模式，强调了华南中生代的伸展作用. 洋坊岩体呈北东向展布，与浦城-武平大断裂带的走向一致，该断裂带从福建明溪地区穿过(图 1)，断裂带的活动始于加里东期，在中生代又开始活动，并控制了清流-武平拗陷和中生代的沉积盆地(如清流嵩溪、长汀策田和葛坪、武平等盆地)[48]. 因此，洋坊霓辉石正长岩的形成很可能与浦城-武平断裂带在早三叠世走滑过程中引起的拉张活动有关，这为进一步研究华南“印支运动”的特点提供了新的思路.

万方数据

致谢 野外地质工作得到了苏立小、严友强和张顺金高级工程师的大力支持和帮助. 锆石 SHRIMP U-Pb 分析得到了中国地质科学院地质所刘敦一教授、陶华工程师、张玉海高级工程师的帮助. 微量元素分析得到了漆亮博士的帮助. 李献华研究员、徐夕生教授、郭峰研究员和审稿专家对文章的初稿提出了宝贵的建议. 在此一并表示衷心的感谢. 本工作受中国科学院知识创新项目(KZCX2-102)、国家自然科学基金(批准号: 40172028, 40273019)、国家攀登计划预选项目(95-预-25)、国家重点基础研究发展规划项目(G1999043202)和中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-SW-117)资助.

参 考 文 献

1 涂光炽, 张玉泉, 赵振华. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究. 见: 徐克勤、涂光炽主编. 花岗岩地质和成矿关系. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984. 20~37

2 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 中国东部晚中生代 A 型花岗岩的构造制约. 高校地质学报, 1995, 1(2): 13~21

3 聂凤军, 张辉旭. 碱性火成岩为主岩的金矿床研究新进展. 国外矿床地质, 1997, (3): 1~36

4 洪大卫, 郭文岐, 李戈晶, 等. 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化. 北京: 北京科学出版社, 1987. 128

5 Chen J F, Jahn B M. Crustal evolution of Southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. Tectonophysics, 1998, 284: 101~133

6 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景. 中国科学, D 辑, 2002, 32(4): 279~289

7 包志伟, 赵振华, 熊小林. 恶鸡脑碱性正长岩的地球化学及其地球动力学意义. 地球化学, 2000, 29(5): 462~468

8 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征. 科学通报, 1999, 44(18): 1992~1998

9 郭新生, 陈江峰, 张巽, 等. 桂东南富钾岩浆岩杂岩的 Nd 同位素组成: 华南中生代地幔物质上涌事件. 岩石学报, 17 (1): 19~27

10 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学, D 辑, 1998, 28(增刊): 7~14

11 阎国翰, 牟保磊, 许保良, 等. 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr, Nd, Pb 同位素特征及意义. 中国科学, D 辑, 2000, 30(4): 383~387

12 Wu, F Y, Sun D Y, Li H M, et al. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. Chemical Geology, 2002, 187: 143~147

13 王强, 赵振华, 熊小林, 等. 华南绍兴-恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探. 地球化学, 2002, 31(5): 433~442

14 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部中生代埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. 岩石学报, 2001, 17(2): 236~244

15 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示. 地质科学, 2001, 36(2): 248~255

16 赵振华, 周玲棣. 我国某些富碱侵入岩的稀土元素地球化学. 中国科学, B 辑, 1994, 24 (10): 1109~1120

17 Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and Processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Implications for Mantle Composition and Processes. Magmatism in the Ocean Basins. Geol Soc Special publications, 1989, 42: 313~345

18 Holloway N H. North Palawan Block, Philippines——its relation to Asian Mainland and Role in evolution of South China Sea. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1982, 66: 1355~1383

19 Hsü K J, Li J L, Chen H H, et al. Tectonic of south China: Key to understanding west Pacific geology. Tectonophysics, 1990, 183: 9~39

20 Xu J W, Zhu G, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: A major shear system to the northwest of the Pacific Ocean. Tectonophysics, 1987, 134: 273~310

21 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 中国东南大陆火山地质及矿产. 北京: 地质出版社, 1997. 1~431

22 Li X. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in southeast China. Journal of Asian Earth Science, 2000, 18: 293~305

23 Gilder S A, Gill J, Coe R S, et al. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. J Geophys Res, 1996, 101: 16137~16154

24 Zhou X M, Li W X. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. Tectonophysics, 2000, 326: 269~287

25 徐夕生, 周新民, 王德滋. 壳幔作用与花岗岩成因——以中国东南沿海为例. 高校地质学报, 1999, 5(3): 241~250

26 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996. 1~110

27 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 313~317

28 邢光福, 杨祝良, 薛怀民, 等. 浙东白垩纪双峰式火山岩 Sr, Nd 同位素组成及其成因意义. 地质论评, 1999, 45(增刊): 796~804

29 邱检生, 王德滋, 周金城. 福建永泰云山晚中生代双峰式火山岩的地球化学及岩石成因. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(2): 97~107

30 陶奎元, 毛建仁, 杨祝良, 等. 中国东南部中生代岩石构造组

万方数据
www.scichina.com

合和复合动力学过程的记录. 地学前缘, 1998, 5(4): 183~191

31 于津生, 桂洲唐, 黄琳. 广东罗定泗纶混合岩田同位素组成特征. 广东地质, 1991, 6(3): 73~82

32 Fitton J G, Upton B G J. Alkaline Igneous Rocks. London: Blackell Scientific Publications, 1987. [illegible]

33 Liégeois J P, Naves J, Hertogen J, Black R. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of Sliding normalization. Lithos, 1998, 45: 1~28

34 Dungan M A, lindstrom MM, Mmiland N J, et al. Open system magmatic evolution of the Tos Pateau volcanic field, northern New Mexico, 1, The petrology and geochemistry of the Servilleta basalt. J Geophys Res, 1986, 91: 5999~6028

35 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等, 中国大地构造及其演化(1∶400万中国大地构造图简要说明). 北京: 科学出版社, 1980. 1~124

36 Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: An overview. In: Metca1fe I, ed. Gondwana Dispersion and Asian Accretion: IGCP 321 Final Results Volume. Rotterdam, Netherlands: Balkema Publications, 1999. 9~28

37 Carter A, Roques D, Bristow C, et al. Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. Geology, 2001, 29: 211~214

38 李武显, 周新民, 中国东南部晚中生代俯冲带探索. 高校地质学报, 1999, 5(2): 164~169

39 Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites. Lithos, 1998, 45: 29~24

40 郭锋, 范蔚茗, 林舸, 等. 湖南道县辉长岩包体的年代学研究及成因探讨. 科学通报, 1997, 42(15): 1661~1664

41 王岳军, Zhang Y H, 范蔚茗, 等. 湖南印支期过铝质花岗岩的形成: 岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟. 中国科学, D 辑, 2002, 32(6): 491~499

42 水涛. 中国东南大陆基底构造格局. 中国科学, B 辑, 1987, 17(4): 414~422

43 Faure M, Sun Y, Shu L, et al. Extensional tectonics within a subduction-type orogen: The case study of the Wugongshan dome (Jiangxi province, SE China). Tectonophysics, 1996, 263: 77~108

44 舒良树, 孙岩, 王德滋, 等. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学, D 辑, 1998, 28 (5): 431~438

45 Li J W, Zhou M F, Li X F, et al. The Hunan-Jiangxi Strike-slip fault system in Southern China: Southern termination of the Tan-Lu fault. J Geodynamics, 2001, 32: 333~354

46 Fletcher C J N, Fitches W R, Rundle C C, et al. Geological and isotopic constraints on the timing of movement in the Tan-Lu fault zone, northeastern China. Journal Southeast Asian Earth Science, 1995, 11: 15~22

47 Yin, A, Nie, S Y. An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, eastern Asia. Tectonics, 1993, 12, 801~813

48 福建地质矿产局. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1985. 537~538

(2003-01-23 收稿, 2003-05-06 收修改稿)

书 讯

《水资源产权配置与管理》

胡振鹏, 傅春, 王先甲 著 2003年科学出版社出版

本书从实施可持续发展战略出发, 根据水的自然属性和水资源公共产权的特点, 以效率与公平兼顾为准则, 系统地研究了水资源产权配置与管理的若干理论与实践问题. 针对水资源开发利用的不同类型, 通过剖析用水特点、社会与经济属性和对生态环境的影响, 分别探索了产权体系中有关权利的责任主体和产权配置、转让和管理的手段、措施及其效率; 研究了水资源价值理论及其定量分析方法; 建立了各类用水的产权初始配置与转让的数学模型; 剖析了相应的管理机制. 根据水利工程的特点, 总结了产权改革的实践经验, 提出了现代化管理的若干设想.

本书可作为高等院校水资源、水利规划与管理、环境管理和水资源系统工程等专业的高年级大学生、研究生的教学参考书, 也可供从事水利规划与管理、水政水法管理、环境管理计划管理和水行政管理人员参考.

《黄河三角洲生态环境动态监测与数字模拟》

刘高焕, 叶庆华, 刘庆生等 著 2003年科学出版社出版

本书在黄河三角洲环境生态特征研究的基础上, 充分利用多时相遥感数据、地理背景数据, 研究了黄河三角洲发育过程的数字反演与动态模拟、海岸线蚀淤变化规律与发展预测、黄河三角洲土地利用的时空演变特征、新生湿地景观异质性动态变化与生态演替图谱、土壤盐渍化遥感监测与盐渍化治理、油田开发区环境生态演化监测以及黄河三角洲生态环境动态监测等内容, 构建了黄河三角洲可持续发展信息系统, 探索了地学信息技术在区域可持续发展研究中的应用途径, 为在新技术支持下区域可持续发展研究提供可供借鉴的思路和技术方法.

本书可供地理学、资源与环境、国土整治与区域规划等领域的科研人员、管理人员和高等院校有关专业的师生阅读参考.

万方数据

武夷山洋坊霓辉石正长岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄及其构造意义

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 王强， 赵振华， 简平， 熊小林， 马金龙， 包志伟
作者单位： 王强,赵振华,熊小林,马金龙,包志伟(中国科学院广州地球化学研究所,广州,510640)， 简平(中国地质科学院地质研究所,北京,100037)

刊名： 科学通报 ISTIC PKU
英文刊名： CHINESE SCIENCE BULLETIN
年，卷(期)： 2003，48(14)
被引用次数： 10次

参考文献(48条)

1. 涂光炽. 张玉泉. 赵振华. 徐克勤 华南两个富碱侵入岩带的初步研究 1984

2. 王德滋. 赵广涛. 邱检生 中国东部晚中生代A型花岗岩的构造制约 1995(02)

3. 聂凤军. 张辉旭 碱性火成岩为主岩的金矿床研究新进展 1997(03)

4. 洪大卫. 郭文岐. 李戈晶 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化 1987

5. Chen J F. Jahn B M Crustal evolution of Southeastern China:Nd and Sr isotopic evidence 1998

6. 陈培荣. 华仁民. 章邦桐 南岭燕山早期后造山花岗岩类.岩石学制约和地球动力学背景[期刊论文]-中国科学D辑 2002(04)

7. 包志伟. 赵振华. 熊小林 恶鸡脑碱性正长岩的地球化学及其地球动力学意义[期刊论文]-地球化学 2000(05)

8. 李献华. 周汉文. 刘颖 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[期刊论文]-科学通报 1999(18)

9. 郭新生. 陈江峰. 张巽 桂东南富钾岩浆岩杂岩的Nd同位素组成华南中生代地幔物质上涌事件[期刊论文]-岩石学报 2002(01)

10. 赵振华. 包志伟. 张伯友 湘南中生代玄武岩类地球化学特征 1998(z1)

11. 阎国翰. 牟保磊. 许保良 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和Sr、Nd 、Pb同位素特征及意义[期刊论文]-中国科学D辑 2000(04)

12. Wu F Y. Sun D Y. Li H M A-type granites in northeastern China:Age and geochemical constraints on their petrogenesis 2002

13. 王强. 赵振华. 熊小林 华南绍兴-恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探[期刊论文]-地球化学 2002(05)

14. 张旗. 王焰. 钱青 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[期刊论文]-岩石学报 2001(02)

15. 张旗. 钱青. 王二七 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示[期刊论文]-地质科学 2001(02)

16. 赵振华. 周玲棣 我国某些富碱侵入岩的稀土元素地球化学 1994(10)

17. Sun S S. McDonough W F Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts:Implications for mantle composition and Processes In:Saunders A D,Norry M J,eds Implications for Mantle Composition and Processes 1989

18. HollowayNH. North Palawan Block Philippines--its relation to Asian Mainland and Role in evolution of South China Sea 1982

19. HsüKJ. Li J L. Chen H H Tectonic of south China:Key to understanding west Pacific geology 1990

20. Xu J W. Zhu G. Tong W X Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system 1987

21. 陆志刚. 陶奎元. 谢家莹 中国东南大陆火山岩地质及矿产 1997

22. Li X Cretaceous magmatism and lithospheric extension in southeast China 2000

23. Gilder S A. Gill J. Coe R S Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China 1996

24. Zhou X M. Li W X Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China:Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas 2000

25. 徐夕生. 周新民. 王德滋 壳幔作用与花岗岩成因—以中国东南沿海为例 1999(03)

26. 邓晋福. 赵海玲. 莫宣学 中国大陆根-柱构造—大陆动力学的钥匙 1996

27. 吴福元. 孙德有 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄 1999(04)

28. 邢光福. 杨祝良. 薛怀民 浙东白垩纪双峰式火山岩Sr,Nd同位素组成及其成因意义[期刊论文]-地质论评 1999(z1)

29. 邱检生. 王德滋. 周金城 福建永泰云山晚中生代双峰式火山岩的地球化学及岩石成因[期刊论文]-岩石矿物学杂志 1999(02)

30. 陶奎元. 毛建仁. 杨祝良 中国东南部中生代岩石构造组合和复合动力学过程的记录[期刊论文]-地学前缘 1998(04)

31. 于津生. 桂洲唐. 黄琳 广东罗定泗纶混合岩田同位素组成特征 1991(03)

32. Fitton J G. Upton B G J Alkaline Igneous Rocks London 1987

33. Liégeois J P. Naves J. Hertogen J Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids The use of Sliding normalization 1998

34. Dungan M A. lindstrom MM. Mmiland N J Open system magmatic evolution of the Tos Pateau volcanic field,northern New Mexico,1,The petrology and geochemistry of the Servilleta basalt 1986

35. 黄汲清. 任纪舜. 姜春发 中国大地构造及其演化--1:400万中国大地构造图及简要说明 1980

36. Metcalfe I Gondwana dispersion and Asian accretion:An overview In:Metcalfe I,ed Gondwana Dispersion and Asian Accretion:IGCP 321 Final Results Volume 1999

37. Carter A. Roques D. Bristow C Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia:significance of Triassic thermo-tectonism (Indosinian orogeny)in Vietnam 2001(29)

38. 李武显. 周新民 中国东南部晚中生代俯冲带探索 1999(02)

39. Sylvester P J Post-collisional strongly peraluminous granites 1998

40. 郭锋. 范蔚茗. 林舸 湖南道县辉长岩包体的年代学研究及成因探讨 1997(15)

41. 王岳军. Zhang Y H. 范蔚茗 湖南印支期过铝质花岗岩的形成:岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟[期刊论文]-中国科学D辑 2002(06)

42. 水涛 中国东南大陆基底构造格局 1987(04)

43. Faure M. Sun Y. SHU L Extensional tectonics within a subduction-type orogen:The case study of the Wugongshan dome (Jiangxi province,SE China) 1996

44. 舒良树. 孙岩. 王德滋 华南武功山中生代伸展构造 1998(05)

45. Li J W. Zhou M F. Li X F The Hunan-Jiangxi Strike-slip fault system in Southern China:Southern termination of the Tan-Lu fault 2001

46. Fletcher C J N. Fitches W R. Rundle C C Geological and isotopic constraints on the timing of movement in the Tan-Lu fault zone,northeastern China 1995

47. Yin A. Nie S Y An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems 1993

48. 福建地质矿产局 福建省区域地质志 1985

引证文献(10条)

1. 张岳桥. 徐先兵. 贾东. 舒良树 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[期刊论文]-地学前缘 2009(1)

2. 刘珺. 叶会寿. 谢桂青. 杨国强. 章伟 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿Re-Os年龄及其地质意义[期刊论文]-地质学报 2008(11)

3. 翟伟. 李兆麟. 孙晓明. 黄栋林. 梁金龙. 苗来成 粤西河台金矿锆石SHRIMP年龄及其地质意义[期刊论文]-地质论评 2006(5)

4. 丁兴. 陈培荣. 陈卫锋. 黄宏业. 周新民 湖南沩山花岗岩中锆石LA-ICPMS U-Pb定年:成岩启示和意义[期刊论文]-中国科学D辑 2005(7)

5. 谢才富. 朱金初. 赵子杰. 丁式江. 付太安. 李志宏. 张业明. 徐德明 三亚石榴霓辉石正长岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄:对海南岛海西-印支期构造演化的制约[期刊论文]-高校地质学报 2005(1)

6. 付建明. 马昌前. 谢才富. 张业明. 彭松柏 湖南金鸡岭铝质A型花岗岩的厘定及构造环境分析[期刊论文]-地球化学 2005(3)

7. 付建明 华南骑田岭-九嶷山地区燕山早期花岗岩类与壳-幔相互作用[学位论文]博士 2005

8. 刘红英 攀西地区碱性岩的年代学研究及其地质意义[学位论文]博士 2005

9. 丁兴 华南印支晚期-燕山早期板内岩浆作用及陆壳基底演化[学位论文]硕士 2005

10. 毛景文. 谢桂青. 李晓峰. 张长青. 梅燕雄 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[期刊论文]-地学前缘 2004(1)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_kxtb200314020.aspx
授权使用：长江水利委员会(cjslwyh)，授权号：12af0053-4955-4a72-8dd8-9e82015d17db

下载时间：2011年2月6日