

珠江口盆地花岗岩成因探讨及其对油气资源指示意义

刘安^{1,2}, 吴世敏^{2,*}

1. 中国地质调查局 武汉地质矿产研究所, 湖北 武汉 430205

2. 中山大学 地球科学系, 广东 广州 510275

Liu An^{1,2}, Wu Shimin^{2,*}

1. Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Wuhan 430223, China

2. Department of Earth Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Liu An, Wu Shimin. A discussion on the formation of granite in the Pearl River Mouth Basin and its implication to hydrocarbon resource. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(1): 141-148

Abstract: The analysis of the geochemical and geophysical characteristics of Yanshan Period granite in the Pearl River Mouth Basin suggested that the uplifting of the lithosphere isothermal surface and multiple melting of the upper crust, which resulted from the subduction of the Pacific plate under the South China plate, gave rise to the formation of the granite. The granite dome and drape anticline on the uplifting part of the basin was formed by the regional erosion and the sedimentation in the Cenozoic afterwards. The drape anticline was one of the most important tectonic types of oil and gas bearing structure in Pearl River Mouth Basin. The Dongsha Rise and its northern region are characterized by high-temperature geothermal field in the Mesozoic and the granite, while the southern depression is featured by lower-temperature geothermal field and the Mesozoic sedimentary. Owing to the low thermal evolution of source rock in the southern depression, there was a possibility that secondary hydrocarbon generation could occur in the Cenozoic.

Key words: *in-situ* melting; Pearl River Mouth Basin; granite; drape anticline; secondary hydrocarbon generation

摘要: 珠江口盆地燕山期花岗岩地球化学、地球物理等特征分析表明,其形成缘于中生代太平洋板块向华南大陆的俯冲,并引起华南大陆边缘岩石圈等温面上隆及上地壳硅铝质岩石的多次重熔。花岗岩层形成后的区域性剥蚀作用导致盆地隆起部位花岗岩穹窿和背斜的形成;此后,新生代沉积物覆盖在花岗岩背斜和穹窿之上并形成披覆背斜,该类构造为珠江口盆地重要的含油气构造类型。在中生代时,东沙隆起及其以北具有高地温场,花岗岩发育的特点;南部凹陷带则表现低地温和中生代沉积等特点。中生代烃源岩演化程度相对较低,它在新生代时期具备二次生烃的可能性。

关键词: 原地重熔;珠江口盆地;花岗岩;披覆背斜;二次生烃

中图分类号: P588.121; P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2321(2011)01-0141-08

收稿日期: 2010-11-30; **修回日期:** 2010-12-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2007CB411706-05); 国家自然科学基金项目(40576025); 中国地质调查局计划项目(1212010782005)

作者简介: 刘安(1981—),男,硕士,大陆边缘与盆地分析专业,从事盆地分析与油气地质调查研究。E-mail: globstar@163.com

*** 通讯作者:** 吴世敏。E-mail: wushim@mail.sysu.edu.cn

珠江口盆地位于南海北部边缘,是我国重要的油气产地。在珠江口盆地早期的勘探研究中,截至1997年有50多口钻井钻遇古近纪基岩,岩性有变质岩、岩浆岩和火山碎屑岩,其中燕山期中酸性岩浆岩占89%,因此花岗岩在珠江口盆地油气勘探中具有举足轻重的意义。珠江口盆地中部的东沙隆起曾经被认为是燕山期火山弧,其基底应主要是花岗岩和火山岩;而钻遇的主要是变质岩和侵入岩,郝沪军等^[1]对该区高质量地震剖面重新解释认为东沙隆起与周围的坳陷类似,主要由中生代沉积岩组成。对于东沙隆起的基底组成,钻井和地震剖面得出了截然不同的认识,因此花岗岩和含油气构造可能存在某种相关性。本文将对花岗岩的地球化学、地球物理等特征进行分析,并对其成因以及与油气资源的关系加以探讨。

1 地质概况

晚侏罗世至早白垩世是中特提斯洋和古太平洋俯冲的鼎盛时期,形成延长数千米的欧亚大陆东南边缘的俯冲增生带,华南板块东南边缘为安第斯型大陆边缘^[2]。燕山期华南板块边缘表现出强烈的岩浆和断裂活动,改变了古生代的构造形态,形成了一系列延伸数百甚至上千千米,走向为NE向左旋压扭性逆冲断层,伴随着断裂活动,有大量燕山期的中酸性侵入和喷发岩,形成了华南花岗岩和火山岩带。珠江口盆地燕山期侵入岩以花岗岩为主,其次为花岗闪长岩、闪长岩、石英闪长岩及石英二长岩,主要分布在盆地东沙隆起、神狐隆起及番禺隆起及其以北地区,侵入时间以燕山四期和五期为主,盆地自北向南侵入时间有变新的趋势^[3]。

晚白垩世至始新世期间太平洋板块与华南板块的汇聚速率大幅度降低,从晚白垩世到古新世,由120~140 mm/a降至70 mm/a,到始新世进一步降至40 mm/a^[4],整个中国东南沿海地区逐渐处于拉张的环境,在南海北部大陆边缘发生陆缘扩张,发育NE向的伸展断层形成了台西南、珠江口、琼东南等一系列拉张盆地,期间伴有基性及中酸性火山岩活动^[5]。珠江口盆地古新世—渐新世伸展阶段发育下构造层陆相地层,其中文昌组和恩平组发育烃源岩层;渐新世以上以热沉降为主,发育以滨海相为主的上构造层地层^[6]。

2 花岗岩地球化学特征

前人对珠江口盆地燕山期花岗岩岩石地球化学做了较为详细的研究^[7],本次研究测试了8个钻井花岗岩样品(图1),样品由中国科学院广州地球化学研究所测试,全岩的主量元素用常规湿化学方法分析,微量元素用ICP-MS分析(表1,3)。分析这些数据,可以得到以下认识。

(1)据李平鲁等^[3]对珠江口盆地多口钻井花岗岩分析数据归纳统计,总体特征表现为SiO₂、K₂O、Na₂O由老到新增加,而CaO、FeO、MgO含量减少。以花岗岩类为例,晚侏罗世—早白垩世—晚白垩世SiO₂质量分数分别为69.79%、70.21%、72.4%;而MgO质量分数则相应降低,分别为1.19%、0.91%、0.52%,花岗闪长岩类和闪长岩类也有同样的变化规律(表2)。本次研究所测数据多数没有确切的年龄数据,但是可以推测这种规律是应该存在的。主量元素的这种变化规律在整个中国东南部古生代—中生代花岗岩中也存在,表明多次热事件使早期形成的花岗岩地壳发生了多次重熔和岩浆分异。

(2)将李平鲁等的数据与本次所测花岗岩数据在K₂O-SiO₂图解投影(图2)发现,东沙隆起带样品比北部坳陷带样品的K₂O的含量要低,即从东沙隆起向北K₂O的含量有增加的趋势。板块构造学说认为,从火山弧向板内,火山岩碱含量具有增加的趋势。珠江口盆地的花岗岩的碱性也具有相似的规律,但可能是因为东沙隆起是个长期发育的古隆起(详见下文),K₂O的含量的差异更多反映的是花岗岩的剥蚀强度。原地重熔理论认为花岗岩层SiO₂、K₂O、Na₂O等成分具有垂向递减的规律^[8],因此剥蚀程度较高区域的花岗岩整体上显示上述成分含量较低。

(3)所有样品的稀土元素配分曲线类似,表现为右倾型,LREE/HREE一般为8~10,钕元素为负异常(图3、表3)。花岗岩的稀土配分模式和华南沉积岩的稀土配分模式甚为相似,LREE/HREE的变化,以及 δEu 值的变化可能更多的是由重熔分异的程度以及样品在花岗岩层中所处深度所致^[9]。只是本次所采样品并非为同一岩体,不能比较重熔分异的特征,但相似的配分曲线更能说明重熔过程发生在上地壳沉积岩中。

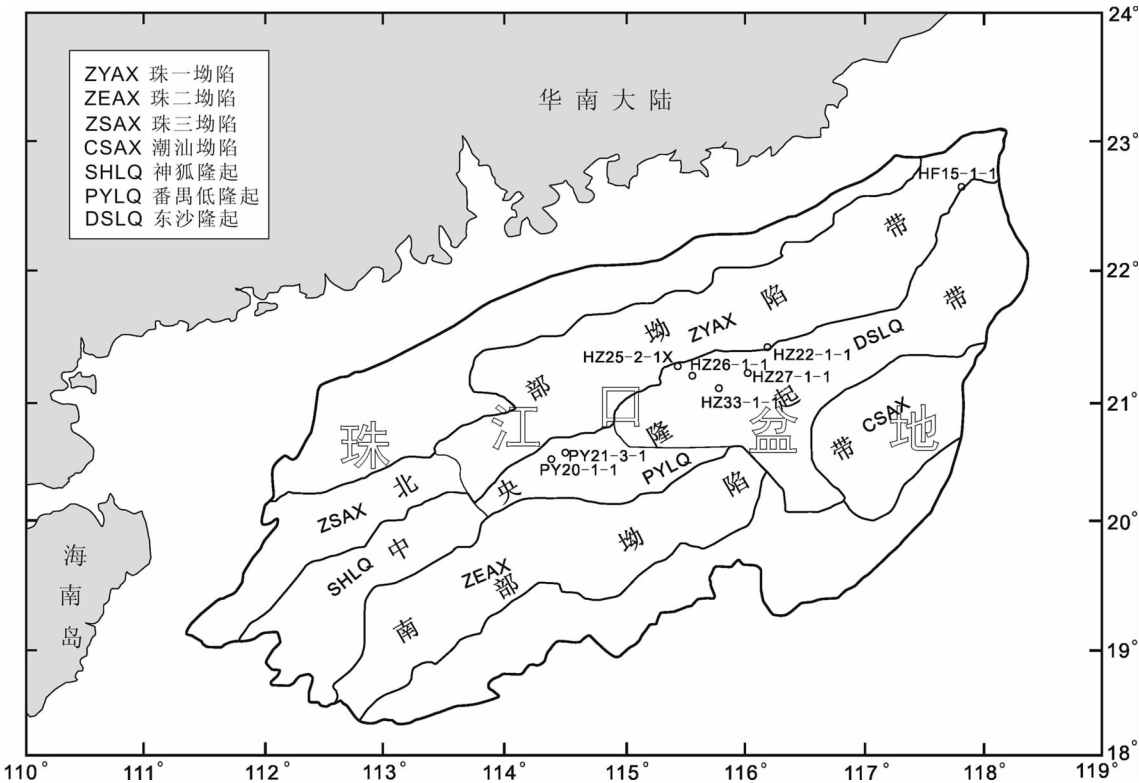


图 1 研究区构造单元划分及采样位置图
Fig. 1 Tectonic units and location of samples in study area

表 1 珠江口盆地花岗岩主量元素分析结果

Table 1 Major element analyses of granites in Pearl River Mouth basin

样号	$w_B/\%$												A/CNK	AR	A/MF	C/MF
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量				
HF15-1-1	72.21	0.68	8.80	5.29	0.09	2.18	3.80	0.82	1.43	0.12	4.02	99.44	0.897	1.44	0.72	0.56
HZ22-1-1	74.16	0.21	12.52	1.87	0.03	0.50	2.02	2.45	3.91	0.03	2.50	100.22	1.049	2.56	3.42	1
HZ25-2-1X	74.64	0.17	13.76	1.68	0.01	0.35	0.59	3.01	4.96	0.01	1.02	100.19	1.208	3.5	4.55	0.35
HZ26-1-1	69.79	0.34	13.22	3.67	0.04	1.30	3.40	1.50	2.53	0.08	3.55	99.43	1.159	1.64	1.66	0.78
HZ27-1-1	69.37	0.58	13.80	5.17	0.07	1.81	0.97	1.63	2.47	0.09	4.24	100.18	1.944	1.77	1.24	0.16
HZ33-1-1	78.31	0.07	11.77	0.78	0.02	0.12	0.64	2.86	4.91	0.00	0.81	100.31	1.052	4.35	8.97	0.89
PY20-1-1	78.11	0.21	10.69	1.39	0.00	0.25	0.01	0.12	6.04	0.01	2.92	99.62	1.581	3.72	4.45	0.01
PY21-3-1	66.64	0.44	15.74	4.33	0.09	0.94	3.00	3.84	3.34	0.14	1.06	99.56	1.023	2.24	1.99	0.69

表 2 珠江口盆地燕山期花岗岩不同侵入期岩石化学成分统计(数据据李平鲁等,1998^[7])

Table 2 Average chemical composition of granites in different intrusion time in Pearl River Mouth basin

岩石类型	时代, 样品数	$w_B/\%$											H ₂ O
		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	
花岗岩	K,10	72.4	0.20	14.2	0.89	0.97	0.06	0.52	1.36	3.12	4.57	0.07	1.06
	K,3	70.21	0.41	15.23	0.60	2.34	0.06	0.91	1.21	2.58	4.56	0.05	1.27
	J,3	69.79	0.33	14.21	0.80	2.05	0.06	1.19	2.81	3.47	4.34	0.11	0.96
花岗 闪长岩	K,2	64.2	0.53	14.97	1.08	2.97	0.08	1.48	3.61	3.28	3.36	0.08	2.00
	K,1	61.45	0.81	16.83	1.78	4.22	0.15	2.44	5.77	2.85	1.50	0.22	1.38
闪长岩	K,3	59.96	0.64	18.70	1.32	3.20	0.09	1.80	4.40	3.39	3.93	0.21	1.35

表3 珠江口盆地花岗岩稀土元素分析结果

Table 3 Trace element analyses of granites in Pearl River Mouth basin

样号	w _B /%														LREE/ L _A N/				δEu	δCe	
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE	HREE	HREE			Yb _N
PY21-3-1	59.28	111.10	13.23	46.97	8.59	1.38	7.24	1.11	6.52	1.32	3.53	0.50	3.28	0.51	264.55	240.55	24.00	10.02	12.22	0.52	0.90
HZ22-1-1	19.09	36.87	4.22	14.79	2.55	0.54	2.24	0.34	2.13	0.43	1.21	0.19	1.32	0.20	86.10	78.06	8.04	9.70	9.80	0.68	0.93
HZ33-1-1	10.45	22.43	2.96	11.27	2.79	0.12	2.91	0.57	3.74	0.81	2.55	0.42	2.95	0.49	64.47	50.02	14.45	3.46	2.39	0.13	0.94
HZ25-2-1x	31.48	57.92	6.77	23.42	4.11	0.64	3.41	0.57	3.27	0.66	1.93	0.30	2.00	0.31	136.79	124.35	12.45	9.99	10.63	0.51	0.90
PY-20-1-1	21.36	40.36	4.59	15.59	2.57	0.37	2.38	0.37	2.36	0.51	1.52	0.23	1.53	0.24	93.98	84.84	9.14	9.28	9.42	0.45	0.92
HF15-1-1	17.27	35.95	4.54	17.50	3.49	0.91	3.45	0.56	3.35	0.66	1.86	0.28	1.77	0.28	91.86	79.66	12.20	6.53	6.59	0.79	0.94
HZ26-1-1	28.87	53.94	6.48	23.56	4.01	0.79	3.47	0.51	2.99	0.59	1.66	0.25	1.66	0.25	129.03	117.64	11.39	10.33	11.77	0.63	0.90
HZ27-1-1	21.71	41.29	5.47	20.89	3.81	0.90	3.13	0.48	2.70	0.51	1.45	0.21	1.42	0.22	104.17	94.06	10.11	9.30	10.33	0.77	0.87

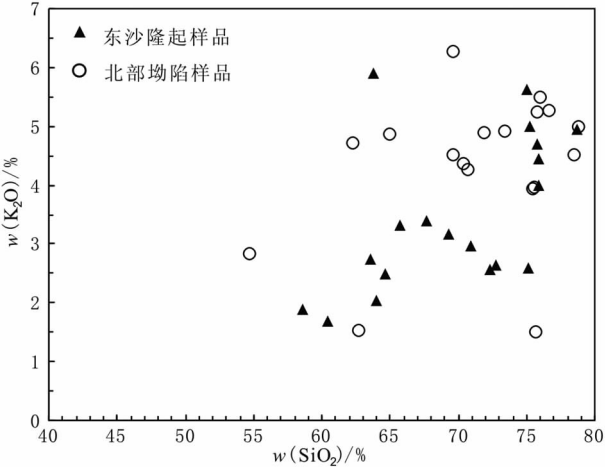


图2 珠江口盆地花岗岩 K_2O-SiO_2 图解

Fig. 2 K_2O-SiO_2 diagram of granites in Pearl River Mouth basin

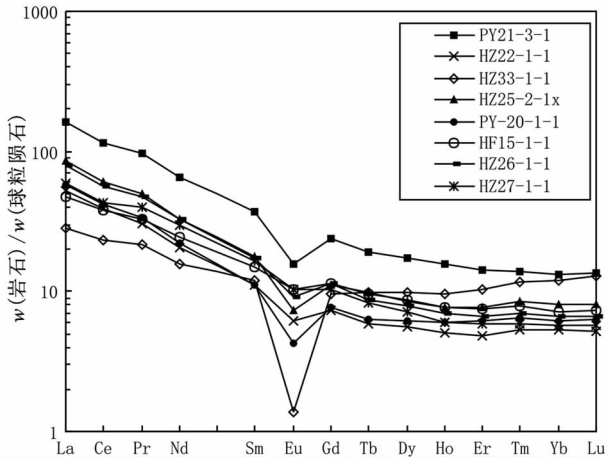


图3 珠江口盆地花岗岩稀土元素配分模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns for granites in Pearl River Mouth basin

3 珠江口盆地及邻区花岗岩层的地球物理特征

位于珠江口盆地北部的广东连县大弯—博罗港口地震剖面切过众多的晚侏罗世和白垩纪的花岗岩

体,在该剖面上地壳底部发现低速层 $v_p=5.8\text{ km/s}$,上覆变质沉积盖层 $v_p<5.9\text{ km/s}$,低速层和变质沉积盖层之间是速度为 $5.9\sim6.3\%$ 的反射层^[10];马浩明^[11]根据多次熔融模型重新解释该剖面, $v_p=6.0\text{ km/s}$ 速度界面相当于晚侏罗世花岗岩层的上界面, $v_p=6.0\text{ km/s}$ 和 $v_p=6.1\text{ km/s}$ 的速度界面层被认为分别是早、晚白垩世的花岗岩层。

过去认为华南大陆的上地壳低速层可能并没有延伸到南海北部陆缘地壳结构中;但是最近的研究^[12-13]在南海北部共发现 5 处速度倒转现象,其中 3 处位于莺歌海盆地,是由于快速堆积引起的欠压实作用形成^[12];另外两处为壳内低速层,位于南海东北部,穿越珠江口盆地。南海北部陆缘上地壳底部低速层速度为 $5.5\sim6.0\text{ km/s}$,厚度一般为 $3\sim6\text{ km}$,尖灭于东沙隆起,其顶面深度为 $7\sim18\text{ km}$ ^[13]。南海北部陆缘低速层深度、厚度与华南大陆大致相当,因此应为华南大陆低速层的延续。尽管目前对低速层的成因认识还存在分歧,但是大部分认为温度升高发生了熔融或部分熔融是主要原因^[14],在造山带普遍存在壳内低速层的事实,强烈暗示中-上地壳内可能存在大规模的地壳熔融层^[9]。

华南大陆低速层揭示经历了中生代大规模重熔之后,上地壳底部仍有较高的残余温度;低速层之上沉积盖层之下主要是已经固结的花岗岩层,不同速度层可能代表不同时期固结而成的花岗岩层。南海北部陆缘经历了中生代板块俯冲挤压高温场、晚白垩世以来陆缘裂谷作用伴随着地幔上隆地壳热流增加,以及后期的热沉降过程;因此低速层揭示的是多重温度场叠加的结果,低速层厚度随着地壳减薄而消失,也表明了其主要是受到晚白垩世以来伸展作用的影响,低速层的存在至少说明该区地壳曾经也发生过熔融。

姚伯初等^[15-16]解释南海北部大陆边缘地壳结

构, 新生代沉积地震波速为 $1.8 \sim 4.5 \text{ km/s}$, 其下为中生代沉积速度为 $4.9 \sim 5.3 \text{ km/s}$, 中生代再往下速度层在不同位置变化较大, 在 $5.6 \sim 6.2 \text{ km/s}$ 范围内变化, 或者是稳定速度反射层, 速度为 5.8 km/s 或 5.9 km/s , 姚伯初等^[15-16]推测其成分为酸性火山岩, 或者是变质岩, 但是没有将两者明确区分开。金庆焕等^[17]认为速度梯度大的反射层是中生代的沉积变质岩, 因此稳定的速度反射层可能主要是由花岗岩造成, 反射层的厚度指示花岗岩层的厚度。下地壳速度为 $6.5 \sim 7.3 \text{ km/s}$, 在各个剖面变化不大。

4 珠江口盆地花岗岩层的形成与演化

研究表明: 中-上地壳部分熔融层产生的壳内对流岩浆体的形态为层状或似层状, 壳内对流层结晶产生成分相对均匀的大陆花岗岩层, 花岗岩岩体是花岗岩层的凸出部分^[9]。讨论花岗岩层的形成与演化主要是分析地温场的变化、地壳伸展、剥蚀及沉积盖层对花岗岩层的影响。

4.1 中生代挤压阶段形成花岗岩层

晚中生代古太平洋板块(库拉板块)向华南大陆俯冲, 改变了该区的地温场平衡。由于俯冲作用产生的剪切热传导到两侧板块, 俯冲带上方岩石圈的等温面会明显向上拱曲^[18]。当位于俯冲板块之上的华南板块岩石圈地温场升高达到硅铝质岩石的初熔温度, 地壳温度不断增高, 熔融区出现重力分异和热对流, 对流花岗岩岩浆层逐渐形成^[9]。随着俯冲板块的汇聚速率、俯冲角度等因素的改变会改变地温场, 使硅铝质层多次熔融和结晶, 形成多期次花岗岩层。

周蒂等^[19]依据地球物理资料推测出南海东北部中生代的俯冲带大致沿着珠江口盆地东南部边缘分布, 珠江口盆地的中央隆起带为中生代的火山弧, 其南部的潮汕坳陷和白云凹陷为中生代的弧前盆地。俯冲板块与仰冲板块之间的温度场呈“V”字型向下凹, 由俯冲带向弧方向增加, 因此弧前盆地的温度场相对较低, Allen^[20]统计表明弧前盆地的平均热流值仅有 35 mW/m^2 , 在珠江口盆地南部的坳陷带没有发现明显的花岗岩分布, 主要是与新生代伸展作用密切的火山岩(图 4A)。东沙隆起及其以北地区在中生代太平洋板块俯冲阶段形成厚度较大的上地壳花岗岩层。

4.2 新生代地壳伸展花岗岩层减薄

晚白垩世末期太平洋俯冲板块后撤以及古南海在古新世南东向的俯冲拖曳作用使南海北部陆缘在新生代处于伸展状态^[21]。地壳伸展减薄, 花岗岩层也随之减薄。以华南伸展作用不明显的地区为基准, 地壳厚度为 30 km , 南海北部陆缘的伸展因子大部分在 $2 \sim 3$ 不等, 由北向南增加^[22], 即花岗岩层的厚度也应变为原来的 $1/2$ 到 $1/3$ (图 4B)。

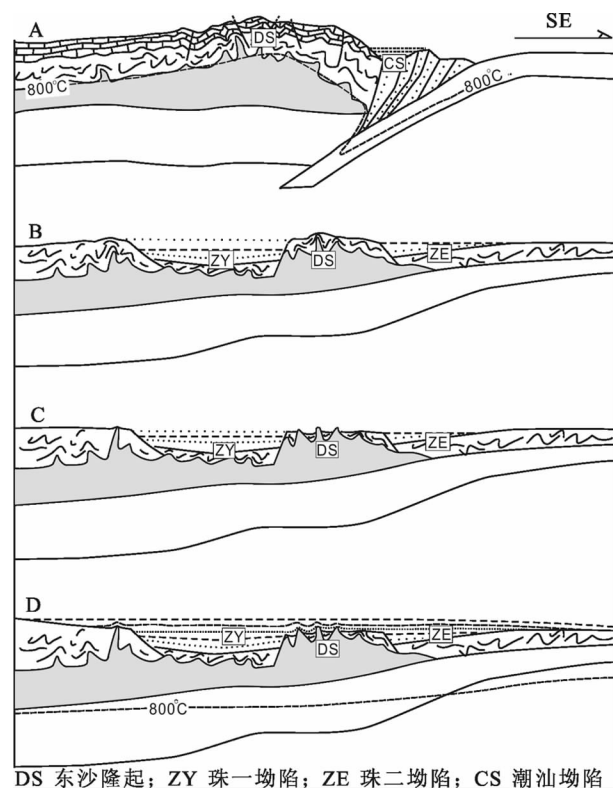


图 4 珠江口盆地花岗岩层演化示意图
Fig. 4 Sketch map of granite layers evolution in Pearl River Mouth basin

伴随新生代伸展作用, 沿断裂有大量的基性及中酸性火山岩浆喷发, 但是在珠江口盆地及其周围并没有发现新生代的花岗岩。一方面伸展后的上地壳厚度一般小于 10 km , 较伸展前大幅减小, 使上地壳等温面相对下降; 另一方面可能南海北部陆缘是以纯剪模式为主的伸展作用, 只是起到了减压作用而升温作用不明显。因此伸展作用使花岗岩层减薄, 但是没有再次大规模重熔形成新的花岗岩层。

4.3 剥蚀作用与花岗岩古隆起的形成

地表剥蚀作用相对板块俯冲和地壳伸展对上地壳底部的温度场影响较小, 可能在一定程度上降低了温度场; 但是剥蚀作用会使花岗岩层上界面的凸

出部分之上的变质沉积岩去除,使上凸部分形成露出的“花岗岩体”。珠江口盆地燕山期花岗岩层形成后经历了晚白垩世和早渐新世两次较大规模剥蚀作用。

4.3.1 晚白垩世剥蚀作用

珠江口盆地的基底与新生代沉积盖层之间为不整合接触关系。一统暗沙以西的地区主要是加里东褶皱基底,没有发现中生代沉积及叠加其中的中生代中酸性侵入岩^[6];而东部地区为中生代的沉积,新生代沉积与之呈角度不整合或平行不整合接触关系^[1]。盆地基底在中生代的剥蚀作用可能西部较东部强烈,西部为长期发育的隆起;盆地东部发育中生代沉积而西部缺失则是最有力的证据。

从南海及其围区的岩相古地理研究来看,主要发育侏罗纪—早白垩世的沉积^[23],珠江口盆地东部主要是侏罗纪—早白垩世沉积,缺失晚白垩世沉积。苏乃容等^[24]认为南海北部陆缘早白垩世海侵沉积了一套滨浅海相碎屑岩地层,晚白垩世为抬升剥蚀期,新生代地层覆盖于侏罗纪或早白垩世地层之上。地震波速在中生代沉积和新生代沉积之间有明显的跳跃,在地震剖面上可见中生代地层褶皱变形,顶部被削蚀的厚度大,上覆新生代地层平直。这些特征表明晚白垩世地层剥蚀厚度大,主要是太平洋板块俯冲挤压隆升造成。

4.3.2 新生代早渐新世剥蚀阶段

南海北部陆缘早渐新世经历了较长时间的隆升剥蚀作用,前人对此有较多的研究^[25-27]。隆升剥蚀总体特征表现为由东向西减弱,由中央隆起带向两侧坳陷带减弱,东沙隆起及其东侧的澎湖隆起剥蚀强度最高,依据钻井声波时差推测澎湖隆起的最大剥蚀厚度超过 4 km^[26],向隆起带西部和两侧坳陷减少为几百米,坳陷中心可能为连续沉积。刘安等^[27]据地球物理资料推测抬升剥蚀的原因可能是渐新世大规模的底侵作用形成的熔岩垫和断块掀斜作用造成。

东沙隆起是一个长期发育的古隆起,局部可能从晚中生代到渐新世长期遭到剥蚀(图 4C)。

4.4 花岗岩古隆起与披覆背斜形成

李平鲁等^[7]探讨了花岗岩的油气地质意义,但认为花岗岩主要意义是可能形成基岩型油气藏,花岗岩裂隙和风化壳是有利的储层类型。珠江口盆地的油气勘探中除了礁滩型圈闭构造以外,成功率最高的是披覆背斜构造,而基岩型油气藏并没有较大

的突破,只是见到了油气显示。珠江口盆地含油气构造钻遇前第三系基底最多的是花岗岩,表明花岗岩与含油气构造,特别是与披覆背斜密切相关。

花岗岩在地表出露的形态为背斜和穹窿,这些现象早为人们所认识。因侧向挤压,重熔界面褶曲变形,岩浆向低压区流动,使上覆岩石向上弯曲隆起,形成花岗岩背斜或穹窿,岩浆在压力下沿着断裂灌入形成岩墙^[9]。珠江口盆地中生代花岗岩背斜或穹窿在经历了中、新生代两次剥蚀作用形成花岗岩基底隆起,盆地新生代沉积盖层直接覆盖在花岗岩基底隆起之上形成披覆背斜构造(图 4D)。

HZ22-1 为一典型的披覆背斜构造,井位位于东沙隆起的北缘,在 2 796 m 处钻遇花岗岩,钻遇厚度近 30 m。从穿越该井的地震剖面(图 5)可清晰地看到花岗岩古隆起,上覆地层两翼较隆起上部要厚(T4),后期地层(T2)逐渐变成平直状。另外同沉积背斜构造也可能是在花岗岩古隆起的基础之上发育而成。

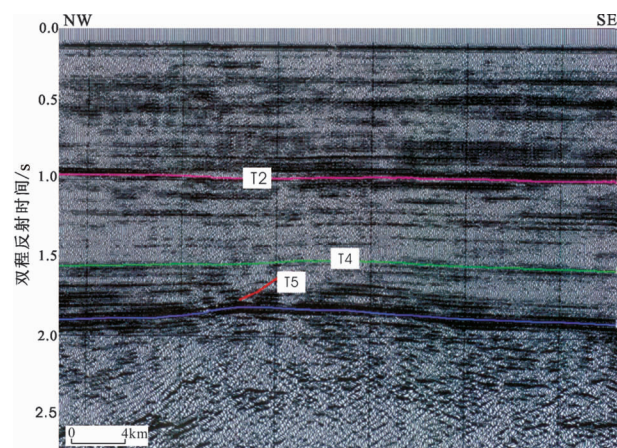


图 5 穿过 HZ22-1 钻井的地震剖面

Fig. 5 Seismic profile cross Well HZ22-1

因此珠江口盆地的花岗岩代表了古隆起的分布,盆地的中央隆起带以及坳陷带的次级隆起是寻找花岗岩基底披覆背斜的有利地区。

5 正确认识花岗岩层特征与演化的意义

原地重熔理论较好地解释了珠江口盆地地震解释与钻井资料对花岗岩分布的“矛盾”认识。花岗岩层在演化过程中易形成花岗岩基底的披覆背斜,而油气勘探又将披覆背斜构造作为重要的勘探对象

是造成两种认识矛盾的主要原因。

正确认识花岗岩层的特征及分布, 不仅有利于披覆背斜构造的勘探, 也会促进对珠江口盆地中生代油气地质特征认识。

珠江口盆地中生代残留盆地作为未来的重要勘探方向, 特别是东部和南部中生代残留盆地厚度大, 更是引起人们的关注^[28-30]。珠江口盆地相邻的台西南盆地发育上三叠统一中、下侏罗统海陆交互相含煤岩系和下白垩统海相泥岩烃源岩, 有机质丰度达到良好级, 干酪根主要为Ⅲ型^[29]。潮汕坳陷与台西南盆地有类似的沉积环境, 也应具有良好的生烃条件, 烃源岩多为成熟—高成熟演化程度, 砂岩泥岩互层层序构成了主要的储、盖层及其组合^[30]。珠江口盆地南部坳陷带勘探程度低, 缺少钻井, 且中生代地层成盆背景复杂, 改造强烈, 对中生代烃源岩的热演化及生排烃史研究不能和北部坳陷带或陆地上中生代地层作简单对比。

珠江口盆地花岗岩分布特征与板块俯冲温度场模型一致, 相互印证。二者对中生代烃源岩演化的影响表现为中生代相同埋深的烃源岩中央隆起带及其以北由于较高的地温场及花岗岩岩墙的烘烤作用, 其演化程度要比南部坳陷带高。南部坳陷带低温场, 中生代烃源岩低演化程度使其在新生代盖层覆盖之下, 具有二次生烃的物质基础。新生代伸展作用使南部坳陷带的温度场升高, 最大值可达 77 W/m^2 ^[31], 以及火山、岩体的刺穿会使中生代烃源岩达到高演化程度, 从而掩盖了在中生代低演化程度的事实, 包括镜质体热成熟度反映的是新生代以来的高地温场信息。因此, 借鉴浅水甚至陆地上中生代烃源岩来研究南部坳陷中生代烃源岩应慎重。在钻井资料相对缺乏的情况下, 应该从温度场演化的模型来评价有效烃源岩、模拟盆地生烃过程。

6 结论

初步分析了珠江口盆地花岗岩层的地球化学地球物理特征、演化过程及其与新生代披覆背斜的关系, 得到以下的结论:

(1) 花岗岩地球化学特征。SiO₂、K₂O、Na₂O 由老到新增加, 而 CaO、FeO、MgO 含量减少, 表明上地壳经历了多次熔融事件。

(2) 华南大陆壳内低速层向南海北部陆缘延伸, 但二者意义不同。华南大陆低速层是因中生代大规

模重熔后仍具有较高的残余地温场, 南海北部陆缘低速层经历了挤压、伸展、热沉降不同环境地温场的叠加。

(3) 板块俯冲温度场特征决定了中生代花岗岩层分布在东沙隆起及其以北, 新生代地壳伸展减薄使花岗岩层随之减薄, 但是没有引起新的大规模熔融事件, 形成新的花岗岩层。

(4) 花岗岩体往往是重熔界面突出的部分, 因后期剥蚀出露形成背斜和穹窿, 珠江口盆地晚中生代和早渐新世的剥蚀作用形成了大量的花岗岩古隆起, 新生代地层直接覆盖在古隆起之上形成披覆背斜构造。

(5) 从花岗岩的分布和板块俯冲温度场模型推测珠江口盆地南部坳陷中生代处于低地温场, 中生代烃源岩在新生代地层覆盖之下具有二次生烃的可能性。

参考文献

- [1] 郝沪军, 汪瑞良, 张向涛, 等. 珠江口盆地东部海相中生界识别及分布[J]. 中国海上油气, 2004, 16(4): 84-87.
- [2] 郭令智. 华南板块构造[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 230-252.
- [3] 李平鲁, 梁慧娴, 戴一丁, 等. 珠江口盆地燕山期岩浆岩的成因及构造环境[J]. 广东地质, 1999, 14(1): 1-8.
- [4] Northrup C J, Royden L H, Burchfiel B C. Motion of the Pacific Plate relation to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia[J]. Geology, 1995, 23: 717-722.
- [5] 李平鲁, 梁慧娴. 珠江口盆地新生代岩浆活动与盆地演化、油气聚集的关系[J]. 广东地质, 1994, 9(2): 20-24.
- [6] 陈长民, 施和生. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-35.
- [7] 李平鲁, 梁慧娴, 戴一丁. 珠江口盆地基岩油气藏远景探讨[J]. 中国海上油气, 1998, 12(6): 361-369.
- [8] 陈国能, 张珂, 邵荣松, 等. 原地重熔及其地质效应[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 95-99.
- [9] 陈国能, 格拉佩斯 R. 花岗岩成因: 原地重熔与地壳演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009: 80-135.
- [10] 尹周勋, 赖明惠, 熊绍柏, 等. 华南连县—博罗—港口地带地壳结构及速度分布的爆炸地震探测结果[J]. 地球物理学报, 1999, 42(3): 383-392.
- [11] 马浩明. 粤东上礫复式岩体和边缘混合岩及其形成机制研究[D]. 广州: 中山大学, 2006: 1-103.
- [12] 吴世敏, 周蒂, 丘学林, 等. 南海西北部莺歌海盆地低速层

- 的特征及其成因探讨[J]. 热带海洋学报, 2001, 20(3): 8-14.
- [13] 赵明辉, 丘学林, 徐辉龙, 等. 华南海陆过渡带的地壳结构与壳内低速层[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(5): 36-42.
- [14] 廖其林, 王振明, 王屏路, 等. 福州—泉州—汕头地区地壳结构的爆炸地震研究[J]. 地球物理学报, 1988, 31(3): 270-280.
- [15] 姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 南海北部陆缘东部的地壳结构[J]. 地球物理学报, 1994, 37(1): 27-35.
- [16] 姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 南海北部陆缘西部的地壳结构[J]. 海洋学报, 1994, 16(3): 86-93.
- [17] 金庆焕, 陈邦彦, 姚伯初. 南海地质与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 125-148.
- [18] Turcotte D L, Schubert G. Geodynamics Application of Continuum Physics to Geological Problems[M]. New York: John Wiley and Sons, 1982: 188-197.
- [19] 周蒂, 王万银, 庞雄, 等. 地球物理资料所揭示的南海东北部中生代俯冲增生带[J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(3): 209-218.
- [20] Allen A P, Allen J R. Basin Analysis: Principles and Applications[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990: 282-308.
- [21] 吴世敏, 杨恬, 周蒂, 等. 南海南北共轭边缘伸展模型探讨[J]. 高校地质学报, 2005, 11(1): 105-110.
- [22] 张云帆, 孙珍, 周蒂, 等. 南海北部陆缘新生代地壳减薄特征及其动力学意义[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(12): 1609-1616.
- [23] 周蒂, 孙珍, 陈汉宗, 等. 南海及其围区中生代岩相古地理和构造演化[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 204-218.
- [24] 苏乃容, 曾麟, 李平鲁. 珠江口盆地东部中生代凹陷地质特征[J]. 中国海上油气, 1995, 9(4): 228-236.
- [25] Zhou D, Ru K, Chen H Z. Kinematics of Cenozoic extension on the South China Sea continental margin and its implication for the tectonic evolution of the region[J]. Tectonophysics, 1995, 251: 161-177.
- [26] Lin A T, Watts A B, Hesselbo S P. Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Sea margin in the Taiwan region[J]. Basin Research, 2003, 15: 453-478.
- [27] 刘安, 武国忠, 吴世敏. 南海东北部下地壳高速层的成因探讨[J]. 地质论评, 2008, 54(5): 609-616.
- [28] 邱燕, 温宁. 南海北部边缘东部海域中生界及油气地质勘探意义[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 142-146.
- [29] 何家雄, 姚永坚, 马文宏, 等. 南海东北部中生代残留盆地油气勘探现状与油气地质问题[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(5): 635-642.
- [30] 郝沪军, 施和生, 张向涛, 等. 潮汕坳陷中生界及其石油地质条件: 基于 LF35-1-1 探索井钻探结果的讨论[J]. 中国海上油气, 2009, 21(3): 151-156.
- [31] 郭小文, 何生. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩热史及成熟史模拟[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 420-425.