

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

我国东南沿海新生代玄武岩的成分 和演化特征

周新民 陈图华

(南京大学地质系)

我国东南沿海江苏、安徽东部、浙江、福建和广东诸省广泛分布新生代玄武岩。本文主要从岩石化学角度,阐述新生代各时期玄武岩的类型和成分,及其在时间上和空间上的演变。

分 布 概 况

新生代玄武岩分为早第三纪、晚第三纪和第四纪三个时期。早第三纪玄武岩(E)主要分布在江苏北部,厚约 184—490 米;广东河源、三水和徐闻一带有零星分布。晚第三纪玄武岩(N)遍及东南沿海各地,在江苏和皖东厚约 30—510 米,浙江 31—73 米,福建 40—275 米,广东 20—330 米(据各省有关的 1/20 万区域地质调查和钻井资料)。第四纪玄武岩(Q)主要分布于广东雷琼地区(雷州半岛和海南岛北部的总称),自更新世至全新世都很发育,厚约 76—406 米(据广东水文队资料)。皖东庐断裂带上嘉山县女山玄武岩,可能属更新世中、晚期¹⁾。

我国东南沿海诸省新生代玄武岩,一般分布在距海岸线约 350 公里以内,并受深断裂控制。主要分布于庐断裂(苏、皖两省)和丽水-松溪-普宁断裂附近及其以东地区,以及琼州海峡断裂的南北两侧。但在特定地区,一般只发育一个时期的玄武岩,或以一个时期为主,另一个时期为次。例如,江苏西部、浙江和福建只分布晚第三纪玄武岩;安徽东部以晚第三纪玄武岩为主,局部有第四纪玄武岩;广东则以第四纪玄武岩为主;江苏东部平原区兼有早第三纪和晚第三纪玄武岩,二者的主次随地而异。

岩 石 类 型

本文根据 400 余块薄片和 180 个岩石化学资料的研究,将我国东南沿海新生代玄武岩分为拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩、碱性橄榄玄武岩和碧玄岩等四种主要类型。

拉斑玄武岩喷发于晚第三纪早期(N_1 , 表 1 之 7)和第四纪早期(Q_{1-2} , 表 1 之 18),近海岸分布,有的就在海滩上,如福建龙海牛头山,它和台湾澎湖岛拉斑玄武岩隔海相对。第二类橄榄拉斑玄武岩喷发于晚第三纪早期(N_1 , 表 1 之 3、4、5)和第四纪中期(Q_2-Q_3 , 表 1 之 19、20)。分布地区与拉斑玄武岩一致,并更向内陆延伸,如江苏的盱眙、高邮和兴

1) 周新民、陈图华, 1980, 南京附近新生代玄武岩火山锥及其喷发特征。南京大学学报, 第二期。

表 1 我国东南沿海各地区新

时 代	早第三纪				晚					
	E ₁		E ₂₋₃		N ₁					
岩石名称	橄榄玄武岩		碱性橄榄玄武岩		橄榄拉斑玄武岩					
地 区	江苏东部				江苏西部		江苏东部		浙江东部	
顺 序 号	1		2		3		4		5	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
SiO ₂	45.76	0.61	46.81	1.34	51.87	0.24	50.69	1.85	50.58	0.96
TiO ₂	1.50	0.39	1.75	0.39	1.65	0.14	1.52	0.49	2.51	0.38
Al ₂ O ₃	15.55	0.65	14.83	0.67	14.14	0.24	15.26	0.70	12.89	0.70
Cr ₂ O ₃	0.032	0.009	0.034	0.006			0.027	0.017	0.022	0.012
Fe ₂ O ₃	4.91	0.80	4.94	1.46	2.73	0.84	3.39	0.82	3.36	1.43
FeO	5.98	0.61	6.50	1.57	6.32	1.41	7.16	0.84	8.28	1.18
MnO	0.20	0.08	0.16	0.04	0.14	0.00	0.17	0.04	0.15	0.02
NiO	0.022	0.001	0.033	0.015			0.022	0.010	0.031	0.017
MgO	8.60	0.50	7.80	0.92	7.85	0.24	6.04	1.62	7.50	1.16
CaO	7.74	0.75	8.62	0.60	8.52	0.14	8.63	0.83	8.89	0.64
Na ₂ O	2.99	0.05	3.36	0.43	3.31	0.02	3.40	0.51	2.80	0.49
K ₂ O	0.85	0.36	1.06	0.13	1.23	0.28	0.81	0.27	1.06	0.16
P ₂ O ₅	0.63	0.26	0.51	0.20	0.31	0.00	0.25	0.13	0.39	0.06
CO ₂	0.30	0.19	0.57	0.52			0.17	0.12	0.30	0.18
H ₂ O ⁺	4.90	0.93	3.05	0.72	1.52	0.24	2.12	1.13	1.07	0.32
总和	99.96		100.03		99.59		99.66		99.83	
样 品 数	6		6		2		6		18	
<i>q</i>					0.09		1.16		1.96	
<i>or</i>	5.01		6.29		7.24		4.79		6.30	
<i>ab</i>	25.28		28.42		28.00		28.73		23.59	
<i>an</i>	26.50		22.25		20.11		24.00		19.47	
<i>ne</i>										
<i>di</i> {	3.27		7.18		8.41		7.13		9.23	
	2.42		4.06		5.72		4.42		5.90	
	0.54		2.82		2.02		2.33		2.72	
<i>hy</i> {	10.45		2.22		13.82		10.62		12.77	
	2.35		1.54		4.86		5.61		5.86	
<i>fo</i>	5.99		9.22							
<i>fa</i>	1.48		0.71							
<i>mt</i>	7.14		7.16		3.96		4.91		4.86	
<i>il</i>	2.95		3.33		3.15		2.88		4.76	
<i>cm</i>	0.05		0.05				0.04		0.03	
<i>ap</i>	1.48		1.21		0.74		0.61		0.94	
%** {	33.7		33.3		38.8		40.7		39.7	
	29.6		36.6		32.4		33.8		29.4	
	36.7		30.1		28.8		25.5		30.9	
	>0		>0							

生代玄武岩平均化学成分*

第		三		纪									
		N ₂ ¹		N ₂ ²									
		拉斑玄武岩		碱性玄武岩		玄武岩							
		福建东南		江苏西部		江苏东部		安徽东部		江苏西部		江苏东部	
6 (平均值)		7		8		9		10		11		12	
$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
50.71	1.15	52.78	0.78	46.96	0.31	46.44	1.75	49.23	1.15	50.15	1.40	48.43	2.71
2.21	0.38	1.32	0.11	2.08	0.26	2.58	0.54	1.84	0.30	1.83	0.32	1.91	0.51
13.53	0.66	15.53	0.54	14.82	0.26	16.41	0.65	15.42	0.55	15.51	0.53	14.23	1.59
0.023	0.013	0.034	0.002	0.032	0.005	0.019	0.001	0.014	0.006	0.028	0.009	0.026	0.015
3.32	1.24	2.87	1.15	3.91	1.25	2.30	0.26	4.54	0.47	4.11	0.67	3.61	1.01
7.87	1.08	6.65	2.35	6.95	1.52	8.29	1.14	7.34	0.71	6.07	0.70	7.13	1.57
0.15	0.02	0.14	0.01	0.14	0.01	0.16	0.01	0.14	0.01	0.14	0.02	0.15	0.05
0.029	0.015	0.023	0.002	0.030	0.006	0.018	0.001	0.023	0.006	0.022	0.006	0.041	0.013
7.19	1.20	6.93	0.39	8.21	1.96	5.87	0.43	5.23	0.74	5.99	1.45	7.40	1.94
8.80	0.65	9.01	0.38	8.04	0.76	8.51	2.05	8.16	0.30	7.99	0.69	8.27	1.01
2.98	0.46	2.70	0.25	3.74	0.51	4.20	0.89	3.81	0.59	3.96	0.49	2.94	0.53
1.02	0.19	0.46	0.09	1.80	0.55	1.56	0.14	1.69	0.16	1.75	0.54	1.71	0.80
0.35	0.08	0.17	0.03	0.57	0.12	0.83	0.16	0.51	0.16	0.45	0.23	0.48	0.19
0.27	0.16	0.17	0.16	0.09	0.06	0.25	0.21	0.50	0.13	0.16	0.11	0.32	0.25
1.35	0.57	1.07	0.68	2.30	0.89	2.25	0.11	1.52	0.13	1.34	0.84	2.49	0.80
99.80		99.86		99.67		99.69		99.97		99.50		99.14	
26		11		5		2		3		22		10	
1.61		5.73											
6.01		2.73		10.63		9.24		9.96		10.35		10.13	
25.22		22.86		25.22		25.22		32.24		33.50		24.85	
20.52		28.90		18.36		21.31		20.00		19.39		20.58	
				3.47		5.60							
8.68		6.13		7.45		6.51		7.17		7.22		7.24	
5.54		3.94		5.21		3.78		4.40		4.79		4.81	
2.59		1.80		1.62		2.41		2.36		1.67		1.90	
12.36		13.32						2.24		2.25		8.04	
5.75		6.12						1.20		0.75		3.17	
				10.68		7.59		4.47		5.40		3.91	
				3.67		5.36		2.63		1.98		1.70	
4.82		4.17		5.68		3.33		6.57		5.95		5.23	
4.21		2.51		3.95		4.91		3.49		3.48		3.63	
0.03		0.05		0.05		0.03		0.00		0.04		0.04	
0.84		0.40		1.35		1.95		1.21		1.08		1.14	
40.5		44.9		26.9		26.4		36.7		36.9		34.8	
30.4		25.8		39.8		44.0		40.8		41.4		32.3	
29.1		29.3		33.3		29.6		22.5		21.7		32.9	
								>0		>0		>0	

时 代	第 三 纪										Q ₁₋₂	
岩石名称	碱 性 微 橄 玄 武 岩										拉斑玄武岩	
地 区	浙江东部		福建东北		福建东南		广东雷琼、三水					
顺 序 号	13		14		15		16		17(平均值)		18	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
SiO ₂	46.45	2.40	47.22	0.50	50.08	0.40	49.18	2.09	48.20	1.80	52.41	1.62
TiO ₂	2.73	0.29	2.08	0.26	2.17	0.12	1.96	0.41	2.15	0.33	1.64	0.28
Al ₂ O ₃	11.85	0.69	12.68	1.17	15.39	0.25	14.61	1.01	14.03	0.83	15.04	0.63
Cr ₂ O ₃	0.027	0.009	0.041	0.001	0.016				0.029	0.009	0.033	0.015
Fe ₂ O ₃	3.65	0.89	2.09	0.56	3.39	0.05	3.52	0.85	3.59	0.77	3.10	0.84
FeO	7.91	1.17	9.46	0.39	6.75	0.20	7.37	1.13	7.34	1.01	7.76	0.76
MnO	0.17	0.03	0.15	0.02	0.11	0.02	0.15	0.02	0.15	0.03	0.12	0.05
NiO	0.037	0.016	0.045	0.002	0.018				0.029	0.010	0.032	0.002
MgO	9.39	1.34	9.89	1.53	5.94	0.27	6.98	0.99	7.63	1.36	6.72	0.84
CaO	9.36	0.58	9.19	1.12	6.99	0.51	8.05	0.93	8.52	0.77	8.41	0.49
Na ₂ O	3.14	0.55	3.40	0.48	3.60	0.13	3.54	0.39	3.51	0.48	2.94	0.21
K ₂ O	1.59	0.26	2.06	0.39	2.57	0.07	1.52	0.32	1.73	0.20	0.65	0.21
P ₂ O ₅	0.65	0.24	0.61	0.18	0.61	0.02	0.53	0.17	0.55	0.20	0.17	0.06
CO ₂	0.42	0.33	0.25	0.17	0.20				0.28	0.21	0.18	0.12
H ₂ O ⁺	1.92	0.55	0.74	0.37	1.50	0.29	2.49	0.78	1.81	0.66	0.81	0.70
总和	99.29		99.91		99.33		99.90		99.55		100.02	
样 品 数	20		7		3		11		83		16	
<i>q</i>											4.26	
<i>or</i>	9.41		12.20		15.20		8.96		10.24		3.84	
<i>ab</i>	22.86		16.62		30.46		29.94		28.44		24.85	
<i>an</i>	13.45		13.27		18.25		19.50		17.41		25.93	
<i>ne</i>	2.02		6.55						0.66			
<i>di</i>	11.96		11.85		5.20		7.13		8.87		6.13	
	8.34		7.39		3.40		4.61		5.93		3.73	
	2.63		3.73		1.44		2.03		2.27		2.06	
<i>hy</i>					3.93		4.80				13.00	
					1.65		2.12				7.16	
<i>fo</i>	10.54		12.07		5.23		5.59		9.15			
<i>fa</i>	3.65		6.76		2.41		2.71		3.84			
<i>mt</i>	5.30		3.03		4.91		5.09		5.21		4.49	
<i>il</i>	5.18		3.95		4.13		3.72		4.10		3.12	
<i>cm</i>	0.04		0.06		0.03				0.04		0.05	
<i>ap</i>	1.55		1.45		1.45		1.24		1.31		0.40	
%**	26.8		18.1		37.9		34.6		30.9		43.0	
	36.9		37.0		33.6		35.9		38.2		27.3	
	36.3		44.9		28.5		29.5		30.9		29.7	
A'***					>0		>0					

* 本表化学成分从收集的 227 个分析数据(其中 67 个自有关省的地质部门收集,其余 160 个为本文作者的工作,得。剔除数据是:(1)地质时代不确切的样品;(2)岩墙、岩脉和含包体的样品;(3)受地壳物质混染的样品;(4)强

** 按 Poldervaart^[1] 建议的程序计算 Q', Ne' 和 Ol' 百分比以及 A'。A' = $ab - 2en_{hy} - 1.5fs_{hy}$, 如 A' > 0

表1 (续)

第		四				纪							
Q ₂		Q ₃				Q ₃		Q ₄				Q	
橄 榄 拉 斑 玄 武 岩						碱 性 橄 榄 玄 武 岩						碧玄岩	
广 东				雷				琼				安徽女山	
19		20		21(平均值)		22		23		24(平均值)		25	
$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
50.04	1.21	52.10	1.40	51.00	1.25	50.53	2.00	49.98	0.90	50.32	1.61	42.87	0.91
1.63	0.31	1.66	0.22	1.64	0.26	2.05	0.41	2.14	0.32	2.09	0.36	2.00	0.14
15.60	0.84	14.73	0.77	15.19	0.78	14.63	1.26	14.07	0.45	14.42	1.00	14.63	0.78
0.025		0.029	0.009	0.027	0.008	0.024	0.002	0.031		0.026	0.002		
3.42	0.42	2.83	1.22	3.15	0.85	3.56	0.58	3.32	0.56	3.47	0.55	4.74	4.06
7.70	0.43	7.99	1.30	7.83	0.90	7.69	1.13	8.03	0.52	7.82	0.91	7.90	3.52
0.12	0.04	0.14	0.03	0.13	0.03	0.13	0.05	0.18	0.12	0.15	0.08	0.15	0.01
0.032		0.027	0.003	0.030	0.003	0.024	0.011	0.023		0.024	0.010		
6.74	0.76	6.96	0.72	6.84	0.72	7.03	1.42	7.61	1.33	7.25	1.33	8.28	0.49
8.41	0.26	8.51	0.28	8.46	0.26	8.28	0.88	9.28	0.44	8.67	0.72	8.25	0.35
3.04	0.18	3.21	0.18	3.12	0.17	3.51	0.47	3.23	0.12	3.40	0.37	4.84	0.58
0.86	0.24	0.96	0.30	0.91	0.26	1.52	0.27	1.59	0.16	1.55	0.23	1.03	0.30
0.30	0.04	0.24	0.13	0.27	0.09	0.37	0.09	0.37	0.06	0.37	0.08	1.34	0.23
0.10		0.31	0.37	0.20	0.34	0.10	0.04	0.16		0.12	0.04	0.11	0.09
1.51	0.87	0.44	0.24	1.01	0.64	0.32	0.30	0.26	0.11	0.30	0.24	3.42	0.53
99.53		100.14		99.81		99.77		100.27		99.98		99.56	
8		7		15		8		5		13		4	
0.73		1.17		0.70									
5.06		5.68		5.40		8.96		9.41		9.18		6.07	
25.69		27.16		26.38		29.68		27.31		28.73		20.82	
26.40		22.95		24.76		19.69		19.19		19.51		15.16	
												10.90	
5.60		7.40		6.46		7.94		10.21		8.79		7.16	
3.45		4.46		3.88		5.08		6.53		5.63		4.82	
1.83		2.55		2.23		2.31		3.02		2.60		1.80	
13.33		12.87		13.14		6.45		3.07		5.12			
7.05		7.33		7.58		2.97		1.43		2.36			
						4.19		6.55		5.12		11.08	
						2.10		3.35		2.61		4.56	
4.95		4.00		3.70		5.16		4.81		4.95		6.87	
3.10		3.16		3.12		3.90		4.07		3.96		3.79	
0.04		0.04		0.04		0.04		0.05		0.04		0.03	
0.71		0.57		0.64		0.87		0.87		0.87		3.17	
38.7		39.4		38.6		35.7		33.0		34.7		20.1	
29.7		30.3		29.9		35.4		35.5		35.4		46.8	
31.6		30.3		31.5		28.9		31.5		29.9		33.1	
						>0		>0		>0			

委托江苏、福建地质局实验室、江苏冶金地质所化验室、南京大学地质系化验室分析)中,剔除不合格的47个后,统计所烈蚀变的样品。

为碱性玄武岩; $A' < 0$ 为橄榄拉斑玄武岩。

化,浙江的余姚至临海诸县,广东的琼州海峡两岸。这两种玄武岩属于拉斑玄武岩类,它们以富硅、贫碱为特征,在图 1 的 SiO_2 对全碱图上的投影点,位于 Hyndman^[2] 判别曲线以下。二者的主要区别对比如表 2 和图 2。

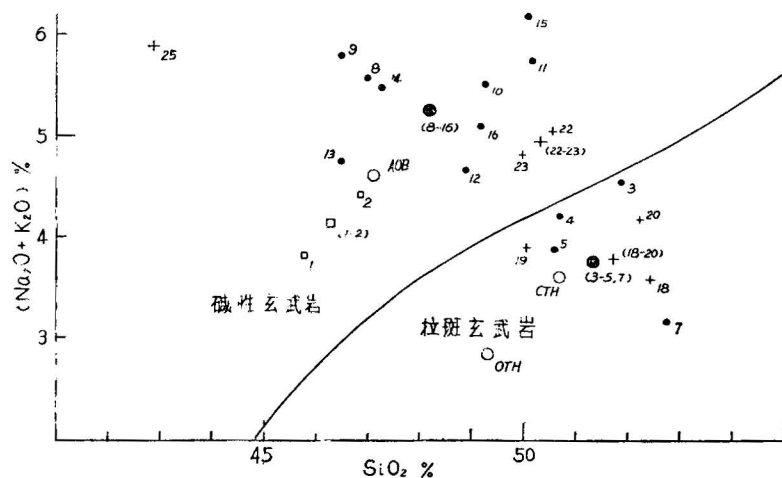


图 1 我国东南沿海新生代玄武岩 SiO_2 对 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 关系图(氧化物重量%)

图中数字同表 1 顺序号; 方框代表的玄武岩时代为 E, 十字为 N, 实心圆为 Q, 空心大圆代表 Hyndman^[2] 提供的世界范围碱性橄辉玄武岩 (AOB, 199 个分析)、大陆拉斑玄武岩 (CTH, 144 个分析)、大洋拉斑玄武岩 (OTH, 166 个分析) 平均值投影; 曲线代表 Hyndman^[2] 确定的碱性玄武岩类和拉斑玄武岩类的判别界线

表 2 我国东南沿海拉斑玄武岩和橄辉拉斑玄武岩的主要区别

	拉 斑 玄 武 岩	橄 辉 拉 斑 玄 武 岩
矿物成分	不含橄辉石; 含古铜辉石(斑晶)、易变辉石(基质)和普通辉石; 斜长石成分 An_{62-75} (斑晶)、 An_{45-70} (基质)	含受熔蚀的橄辉石斑晶, 有时四周围绕普通辉石反应边; 不含古铜辉石和易变辉石, 含普通辉石; 斜长石成分 An_{53-72} (基质)
化学成分	含较多的标准矿物石英(1.2—5.7%); 标准矿物 an/or 比值较高(4.4—10.6%); 在图 2 上的投影点 7、18, 位于 SiO_2 过饱和区	含较少的标准矿物石英(0.1—2.0%); 标准矿物 an/or 比值较低(2.8—5.0%); 在图 2 上的投影点 3、4、5、19、20, 位于 SiO_2 饱和线 Ab-Hy 两侧

我国东南沿海拉斑玄武岩和橄辉拉斑玄武岩还有三个共同特点: 1) 它们的 FeO^*/MgO 值界于 1.12—1.58 之间, FeO^* 界于 8.78—11.30 之间 ($\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3$), 因此是亚碱性拉斑质玄武岩^[3]。又因基质中含易变辉石(据电子探针和光性鉴定), 不含斜方辉石, 故属易变辉石岩系^[4]。2) 它们的平均化学成分(表 3 之 1、2、3) 与大陆拉斑玄武岩相似(表 3 之 6), 不同于大洋拉斑玄武岩(表 3 之 7); 它们的 Na、K 原子比为 4.7—7.6, 与大陆拉斑玄武岩(一般为 3—6^[2]) 基本一致, 显著低于大洋拉斑玄武岩(大于 10)。因此, 它们基本上是大陆型的拉斑玄武岩, 但 CaO 较贫和 MgO 较富。3) 在矿物和化学成分上, 它们与我国台湾澎湖、关山、竹东的拉斑玄武岩(表 3 之 4、5) 十分相似, 二者都含古铜辉石、易变辉石或受熔蚀之橄辉石, 各项化学成分没有大的差别。可见东南沿海地区, 特别是闽东和台湾, 新生代时期玄武岩浆的活动是一个整体。

表 3 我国东南沿海拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩平均成分及与其他玄武岩的比较

岩石名称	拉斑玄武岩	橄榄拉斑玄武岩	拉斑玄武岩类	拉斑玄武岩	拉斑玄武岩	大陆拉斑玄武岩	大洋拉斑玄武岩	碱性橄榄玄武岩	碱性橄榄玄武岩	碱性橄榄玄武岩
时 代	N_1, Q_{1-2}	N_1, Q_2, Q_3	N_1, Q_1-Q_3	N	N			E, N_2, Q	N	
地 区	中国东南沿海			中国台湾澎湖	中国台湾关山竹东	世界范围		中国东南沿海	中国台湾关山竹东	世界范围
顺 序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	52.56	50.81	51.50	52.11	52.63	50.7	49.3	48.24	47.99	47.1
TiO_2	1.51	2.01	1.81	1.84	1.74	2.0	1.8	2.10	2.41	2.7
Al_2O_3	15.24	14.14	14.58	14.56	14.31	14.4	15.2	14.21	13.95	15.3
Cr_2O_3	0.033	0.025	0.028					0.029		
Fe_2O_3	3.01	3.26	3.16	2.58	2.43	3.2	2.4	3.73	3.41	4.3
FeO	7.51	7.85	7.64	8.25	7.87	9.8	8.0	7.26	8.48	8.3
MnO	0.13	0.15	0.14	0.19	0.13	0.2	0.17	0.15	0.14	0.17
NiO	0.028	0.029	0.029					0.028		
MgO	6.81	7.06	6.96	6.36	6.34	6.2	8.3	7.61	7.46	7.0
CaO	8.65	8.68	8.67	8.83	8.50	9.4	10.8	8.47	9.13	9.0
Na_2O	2.84	3.03	2.96	2.61	2.86	2.6	2.6	3.46	3.26	3.4
K_2O	0.57	0.98	0.82	0.70	0.50	1.0	0.24	1.62	1.37	1.2
P_2O_5	0.17	0.32	0.26	0.14	0.59		0.21	0.53	0.64	0.41
CO_2	0.18	0.24	0.22					0.28		
H_2O^+	0.92	1.22	1.10	0.73	1.37			1.90	1.12	
H_2O^-				1.36	0.74				0.91	
总 和	99.96	99.80	99.88	100.26	100.01	99.5	99.0	99.62	100.27	98.9
样 品 数	27	41	68	5		144	166	108		199
资料来源	本文表 1 之 7, 18	本文表 1 之 3, 4, 5, 19, 20	本文表 1 之 3, 4, 5, 7, 18, 19, 20	颜沧波 ^[5] , 1957	Hsui ^[6] , 1961	Hyndman ^[2] , 1972		本文表 1 之 1, 2, 8-16, 22, 23	Hsui ^[6] , 1961	Hyndman ^[2] , 1972

第三类碱性橄榄玄武岩喷发于晚第三纪晚期 (N_2 , 表 1 之 8 至 16)、第四纪晚期 (Q_3 , 表 1 之 22、23) 和早第三纪 (E , 表 1 之 1、2)。分布于东南沿海各地; 并在不少地方与前二种拉斑玄武岩共存。例如江苏盱眙花果山, 浙江新昌、宁海、三门一带的福寿寺、氏户田、西山—吕家、下南山和茶院, 以及福建龙海牛头山等地。第四类碧玄武岩喷发于第四纪 (表 1 之 25), 局部喷发于第三纪末期。主要分布在断裂带附近, 如安徽嘉山县女山以及浙江金华、巨县一带。这两种玄武岩属于碱性玄武岩类, 它们以贫硅、富碱为特征。在图 1 的 SiO_2 对全碱图上的投影点, 都位于 Hyndman 判别曲线之上。二者的主要区别对比如表 4 和图 2。

我国东南沿海碱性橄榄玄武岩和碧玄武岩, 基本上是钠质系列的碱性玄武岩^[7], 如图 3。但在晚第三纪晚期, 江苏和福建东部 (图 3 投影点 12、14、15), 以及某些晚第三纪中心式火山的晚阶段熔岩和侵入体中, 出现富钾的趋势, 过渡为钾质系列, 从而在这些岩石的填隙组分中出现了钠透长石和钙质歪长石¹⁾。

1) 同第 29 页脚注。

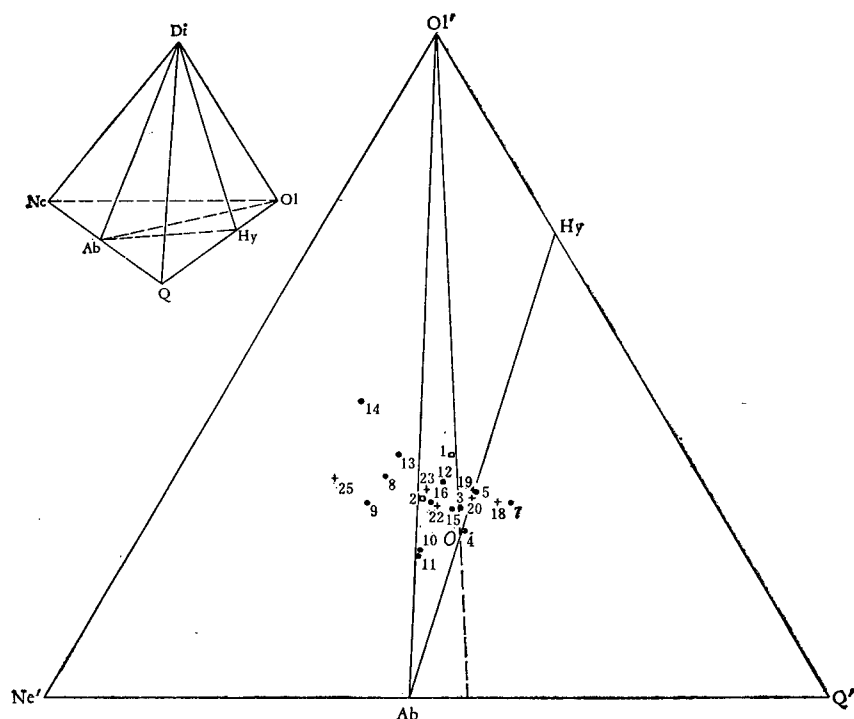


图2 我国东南沿海新生代玄武岩 $Q'-Ne'-Ol'$ 图解

图中数字和符号含义同图1;底图界线据 Poldervaart^[11]; $Ne'-Ol'-Ab$ 代表碱性玄武岩区, $Q'-Ab-Hy$ 为拉斑玄武岩区, $Ol'-O-Hy$ 为橄辉拉斑玄武岩区, $Ol'-Ab-O$ 区中样品,如其 A' 值(见表1) >0 ,为碱性玄武岩, $A'<0$,为橄辉拉斑玄武岩

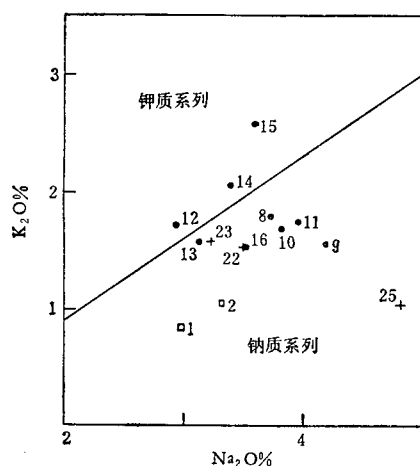


图3 我国东南沿海新生代碱性玄武岩类的钠质和钾质系列的判别

图中数字和符号含义同图1,底图界线据 Middlemost^[7]

表 4 我国东南沿海碱性橄榄玄武岩和碧玄武岩的主要区别

	碱性 橄 榄 玄 武 岩	碧 玄 岩
矿物成分	含橄榄石, $Fo = 85.4 - 59.2\%$ (斑晶); 含普通辉石, $Ca:Mg:\Sigma Fe = 44.3:42.2:13.5$ (18 个平均); 斜长石成分 An_{68-71} (斑晶), An_{46-6} (基质); 不含霞石; 含少量碱性长石、沸石、橙玄玻璃填隙组分	含橄榄石, $Fo = 80\%$ (斑晶); 含透辉石, $Ca:Mg:\Sigma Fe = 46.5:41.2:12.3$ (3 个平均); 含霞石, 数量少于斜长石, 后者成分 An_{59-68} (基质); 含丰富的碱性长石、沸石、橙玄玻璃等填隙组分
化学成分	含较少的标准矿物霞石($<7\%$); 在图 2 上的投影点 8 至 16、22、23, 位于 SiO_2 不饱和区和近于不饱和的 $Ol'-Ab-O$ 区	含较多的标准矿物霞石(一般 $>7\%$); 在图 2 上的投影点 25, 位于 SiO_2 不饱和区

演 化 特 征

近廿余年来,许多地质工作者^[5,8,9,10,11]曾多次指出,我国东部除广泛发育碱性玄武岩外,还存在拉斑玄武岩。根据新生代玄武岩的产出顺序和各时期玄武岩的成分变化,我们同意上述观点,并认为:东南沿海诸省是以碱性玄武岩为主,拉斑玄武岩为次的复合岩区;在这两类玄武岩之间存在一定的演变。随着喷发活动的进行,早第三纪时期由橄榄玄武岩演化为碱性橄榄玄武岩,晚第三纪时期由拉斑玄武岩和橄榄拉斑玄武岩演化为碱性橄榄玄武岩,第四纪时期同样由拉斑玄武岩和橄榄拉斑玄武岩演化为碱性橄榄玄武岩或碧玄武岩;这三个时期的玄武岩分别属于三个岩浆旋回的产物。具体演化特征有下列三个方面:

1. 早第三纪早期(E_1)至晚期(E_{2-3}),随着橄榄玄武岩演化为碱性橄榄玄武岩,橄榄石含量由 2—3% 增至 6—7%,填隙产出的碱性长石从无到有;化学成分上主要表现为全碱

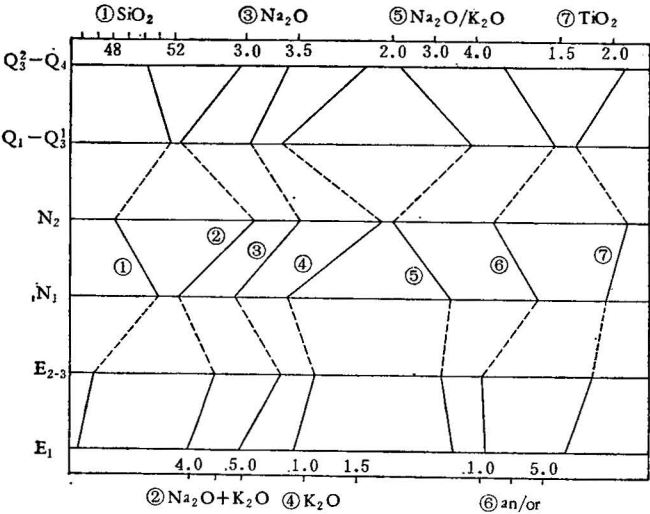


图 4 我国东南沿海新生代各时期拉斑玄武岩和碱性玄武岩若干化学组分的演变
其中氧化物皆重量%, an 和 or 代表标准矿物;演变线据表 1 之 1、2、6+7、17、18+21、24 资料绘制

和 TiO_2 含量的增加(图4),以及碱性程度加强(图2中投影点由1至2,移向 Ne' 方向)。

2. 晚第三纪和第四纪两个旋回的玄武岩演化十分相似。从早期(N_1 和 Q_1 - Q_2)的拉斑玄武岩和橄榄拉斑玄武岩到晚期(N_2 和 Q_3 - Q_4)的碱性橄榄玄武岩,矿物上的变化表现为:由不含橄榄石或含熔蚀的橄榄石,变化为含较多的自形橄榄石(一般含量为2—3%至18%);辉石的成分由古铜辉石、易变辉石和普通辉石三者共存,变化为只有-一种普通辉石;填隙组分则由绿泥石变化为碱性长石和沸石。化学成分上的变化表现为(图4): SiO_2 明显减少;全碱显著增加,其中又以 K_2O 增加得更多。因此 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值随之降低;标准矿物 an/or 值变小,也反映了碱质组分的增加;此外, TiO_2 的显著增加(往往出现含钛普通辉石),也是碱性玄武岩的特征之一。

3. 晚第三纪是我国东南沿海新生代玄武岩发育最兴盛的时期。这一时期的早期拉斑玄武岩在其分离结晶过程中,先后产生辉石斜长岩和铁玄武岩等分异岩石(表5之5、4);如受地壳硅铝物质混染,则产生含长英质包体的玄武岩。它在化学成分上则富硅、铝、钾、钠、磷,而贫镁、钙、钛、铁等组分(表5之2、3)。福建龙海牛头山就是典型的例子。晚第三纪晚期的碱性玄武岩在其分离结晶过程(低压^[12])中,逐渐富硅和贫镁、钛(表5之6、7),从而使岩石碱性程度有所降低(σ 值由表5之6的8.23降为表5之7的4.22)。南京附近的情况充分表现了这种特点。

鉴于我国东南沿海诸省玄武岩的分布和演化的上述特征,可以认为新生代三个岩浆旋回的玄武岩,通过一系列北东走向的高角度深断裂(以张性为主)喷发至地表。就东南沿海全区看来,与岩浆活动有关的断裂系统的深度,自东向西逐渐加大。例如皖东庐断裂为安徽女山碧玄岩喷发通道,它的深度根据碧玄岩中尖晶石二辉橄榄岩包体和石榴石、富铝普通辉石大晶体的成分估算,可达75—100公里¹⁾;而女山以东江苏碱性橄榄玄武岩中尖晶石二辉橄榄岩包体的顽火辉石和透辉石矿物对平衡压力较小,约10—18千巴(相当33—60公里)¹⁾。又例如浙、闽西部产出的碱性橄榄玄武岩,包裹石榴石二辉橄榄岩、尖晶石二辉橄榄岩包体以及石榴石、富铝普通辉石、镁钛铁矿大晶体。因此与玄武岩浆活动有关的江山-绍兴断裂和丽水-松溪-普宁断裂深度可达上地幔石榴石二辉橄榄岩相,即75公里以下,而浙、闽东部沿海的碱性橄榄玄武岩中只包含尖晶石二辉橄榄岩包体,不含石榴石二辉橄榄岩包体,所以与之相关的断裂深度未达石榴石二辉橄榄岩相,可能限于75公里到31公里之间的尖晶石二辉橄榄岩相范围(广州-南京-上海地区的地壳厚度为31公里左右)。由此看来,影响全区新生代玄武岩浆活动和断裂发展的重要因素,可能是太平洋板块向欧亚板块的碰撞。断裂系统位于碰撞带的大陆一侧。断裂到达之处,由于压力骤降,有利于上地幔超镁铁物质局部熔融及玄武岩浆的聚集和运移。在断裂加深过程中,先后引起较浅的拉斑玄武岩浆和较深源的碱性玄武岩浆的先后的喷发^[13]。因此我国东南沿海诸省新生代玄武岩是环太平洋玄武岩带的组成部分。

本文野外工作得到江苏、安徽、上海、浙江、福建、广东和海南诸省、市、地区的地质、石油地质、冶金地质和水文地质队等单位的支持;化学分析由江苏、福建地质局,江苏冶金地质研究所和南京大学地质系等实验室承担;李根坤等、黄文盛、李浩敏等提供有关资料;成

1) 周新民、陈图华, 1978, 江苏及皖东新生代玄武质岩石岩石化学和矿物成分的研究。南京大学学报, 第三期。

文过程中得到徐克勤、俞剑华、孙鼎和王德滋教授的指导,一并谨致诚挚谢意。

表 5 与拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩有关的分异岩石的化学成分*

岩石名称	拉斑玄武岩	拉斑玄武岩岩墙 (受花岗岩混染)		铁玄武岩	辉石斜长岩	碱性橄榄玄武岩	
		(早期)	(晚期)			(早期)	(晚期)
地 区	福 建 龙 海 牛 头 山					南 京 附 近	
顺 序 号	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	52.87	51.18	54.63	41.56	47.30	46.81	49.58
TiO ₂	1.31	1.07	1.07	3.03	0.59	2.22	1.85
Al ₂ O ₃	15.43	16.56	17.24	30.46	26.45	15.28	15.14
Cr ₂ O ₃	0.034	0.019	0.010	0.046	0.013	0.028	0.026
Fe ₂ O ₃	3.05	3.59	4.47	4.44	2.00	3.45	4.00
FeO	6.62	4.93	3.50	16.83	2.84	7.33	6.48
MnO	0.14	0.90	0.50	0.88	0.37	0.15	0.14
NiO	0.023	0.017	0.009	0.043	0.012	0.026	0.028
MgO	6.94	4.85	3.78	0.73	2.41	7.54	6.33
CaO	9.06	7.05	6.45	0.60	14.18	8.18	8.09
Na ₂ O	2.73	2.97	3.62	0.54	1.93	3.87	3.66
K ₂ O	0.46	1.35	1.91	0.21	0.28	1.73	1.73
P ₂ O ₅	0.18	1.70	1.80	0.21	0.24	0.64	0.46
CO ₂	0.31	1.59	0.28	0.27	0.47	0.14	0.24
H ₂ O ⁺	0.98	2.71	1.43	0.57	1.01	2.28	1.68
总 和	100.14	100.49	100.70	100.42	100.10	99.67	99.43
样 品 数	6	1	1	3	2	7	35

* 顺序号 6 的 $\sigma = 8.23$, 7 的 $\sigma = 4.42$ 。

参 考 文 献

- [1] Poldervaart, A., 1964, Chemical definition of alkali basalts and tholeiites. Bull. Geol. Soc. Am., 75, 229—232.
- [2] Hyndman, D. W., 1972, Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks. McGraw-Hill, New York.
- [3] Miyashiro, A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am. J. Sci., 274, 321—355.
- [4] Kuno, H., 1959, Origin of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas. Bull. Volcanol., ser. 2, 20, 37—76.
- [5] 颜沧波, 1957, 澎湖玄武岩. 地质学杂志, 63, 48—54.
- [6] Hsu, L. C., 1961, Basaltic rocks from Kuanhsi-Chutung district, Northern Taiwan. Acta Geologica Taiwanica, 9, 47—78.
- [7] Middlemost, E. A. K., 1975, The basalt clan. Earth Sci. Rev., 11, 337—364.
- [8] 从柏林、张雯华、叶大年, 1979, 华北断块新生代玄武岩研究. 地质学报, 53 卷, 112—124.
- [9] 阮维周、许良基, 1961, 台湾台东利吉与关山之粗粒玄武岩. 中国地质学会会刊(台湾省), 5, 65—80.
- [10] 赵宗溥, 1956, 中国东部新生代玄武岩类岩石化学之研究. 地质学报, 36 卷, 315—367.
- [11] 郑学正、从柏林、张雯华、严正, 1978, 我国东部新生代玄武岩岩石化学的一些探讨. 地质科学, 第三期, 253—264.
- [12] Green, D. H. and A. E. Ringwood, 1967, The genesis of basaltic magmas. Contr. Mineral. and Petrol., 15, 103—190.
- [13] Kuno, H., 1969, Origin of basaltic magma and of ultramafic rocks: summary and conclusion. Tectonophysics, 7, 521—523.

COMPOSITION AND EVOLUTION OF CENOZOIC BASALTIC ROCKS IN SOUTHEASTERN COASTAL PROVINCES OF CHINA

Zhou Xinmin Chen Tuhua

(Department of Geology, Nanjing University)

Abstract

Cenozoic basalts are widely scattered in a zone lying about 350 km. in width which is near the coast line in Southeastern Provinces of China. They may be divided into the early Tertiary, the late Tertiary, and the Quaternary basalts respectively. Among the three cycles of basalts eruptions, the late Tertiary one is the most widespread. It is now known that in a given region only one cycle of basalts occurs generally, but in rare cases two cyclic basalts may be found together. In each cycle, the "alkalinity" of basalts tends to increase progressively. For example, the earlier members of the early Tertiary period are olivine basalts, gave place to alkali olivine basalts in the later stage; similarly, the basalts of the late Tertiary and the Quaternary periods vary from tholeiite and olivine tholeiite to alkali olivine basalt and basanite. On the whole, they form a mixed but predominantly alkaline basaltic province.

Based upon the mineralogical and petrochemical characteristics, the tholeiite is referred to the continental type and to the pigeonite series, in which the ferro basalt and pyroxene anorthosite are enclosed as inclusions. The ferro basalt is considered to be the end product of magmatic differentiation, while the pyroxene anorthosite might originate from earlier crystal accumulation in the magma reservoir. Most of the alkali olivine basalts belong to the soda-series, but some lesser members occurring in late stages tend to be enriched in potash. The alkali olivine basalts often display a series of regular changes in petrochemical and mineralogical properties due to fractional crystallization and contamination. Besides, tholeiite basalts occur only close to the seacoast, whereas in the inland areas, only alkali basalts are found. It is thus postulated that the successively increased depths of the magma chambers, as well as the depth of fracture zones might be due to the plate movement. As to the sequence of eruption, the tholeiitic basalts appear to erupt prior to the alkaline ones.