

宁芜盆地边界断裂带及 邻区玄武岩特征和意义

赵玉琛

(安徽省地质矿产局 322 地质队, 马鞍山市 243034)

主题词 宁芜盆地 边界断裂 玄武岩

提 要 宁芜火山岩盆地边缘主要由北东和北西向边界断裂构成。西界为长江破碎带, 发育早, 属张扭性, 切割较浅; 东界为方山—小丹阳断裂, 属压扭性, 切割较深; 南、北边界均属扭性, 发育最晚。

新生代玄武岩喷发受边界断裂性质及其构造演化控制, 分三期: 早期始于早第三纪, 沿长江破碎带分布, 属高铝拉斑玄武岩, 生成较浅; 中期喷发于晚第三纪, 主要沿方山—小丹阳断裂分布, 先后为响碧玄武岩—碱性橄榄玄武岩, 多幔源二辉橄榄岩包体、捕虏晶及下伏岩层碎块, 生成很深; 晚期喷发属早更新世, 以富钛响碧玄武岩为主, 受北西及东西向断裂交叉点控制。

经计算比较, 本区玄武岩不具备找金刚石矿产的前景, 但从一些岩筒中深部地层碎块看, 盆缘地带仍可能是寻找宁芜盆地本身深部铁矿的目标区。

宁芜火山岩盆地位于我国环太平洋大陆内部, 为受左行平移拉张断裂(翁世劫, 1985)^[1]控制的一系列断陷盆地之一, 处于中生代大别地块与扬子地块碰撞的前陆缩短带内^[2], 表现为一套网格裂隙化走滑剪切断裂系统, 其中以北北东和北西向为主, 次为东西向和南北向。前两者主要构成宁芜盆地的边界断裂, 形成全长约 150 km, 宽仅 10—18 km 狭长的带状断陷盆地。

晚白垩纪到新生代, 盆地中央抬升, 两侧坳陷, 边界断裂重新活动, 沿断裂带或其交叉点, 形成了裂隙—中心式新生代玄武岩喷发。其火山机构以爆发岩筒、岩锥和岩颈等型式为主。部分玄武岩中常含幔源二辉橄榄岩包体、深源捕虏晶。在集块岩中除同期喷发的火山弹、浮岩外, 还有以不同频率出现的下伏岩层的碎块或角砾。

显然, 在一定意义上, 这些爆发岩筒具有超深钻的作用。研究它们的喷发特征和其中岩块、岩屑的性质, 对了解深部构造、边界断裂性质及构造演化和找矿工作都有重要意义。

1 边界断裂主要特征及演化

据 1:50 万区域航磁、重力延拓处理系列图件^①, 宁芜盆地上延 5 km 的航磁图上是一卵形异常带, 上延 10、15、20 km 时均解体, 说明其中生代火山岩是一浅源岩浆活动

① 靳永平等(1982), 利用区域重磁探讨安徽省主要断裂构造。

带。

在图1上,宁芜盆地中轴线是一北东向延伸的串珠状重力负值区(-5 Mgal—-10 Mgal),四周重力高(+20 Mgal—+30 Mgal),两者之间为明显的线性重力梯度带,它是边界断裂的反映。

长江破碎带(F_1):北东向延长在120 km以上,呈之字形,在航磁图上为一串珠状负异常群,上延10 km时最先解体,推测为延深不大的盖层断裂。在芜湖市裕溪口至广福矾一线,多处见到近南北向延长、斜列的张性角砾岩带,最宽处达400 m,判断它属剪切拉张性质。中生代火山岩仅分布在该断裂带以东,物探资料推断其为下降断块,故它构成宁芜盆地的西部边界。

方山—小丹阳断裂(F_2):北北东向延长约140 km,是一极为明显的重力梯度带,上延10 km时仍很明显。据物探资料推断:该断裂断面近直立,西盘下降、东盘上升,落差约4 km^①。沿断裂带主要分布着中生代火山集块岩、角砾岩。断裂以东为大面积火山基底出露区,此断裂构成宁芜盆地的东部边界。

在该断裂西部残存的火山基底岩层中,发育一系列雁行排列的边幕式褶皱(轴向北东 40° — 45°),局部倒转并有纵向逆掩断层伴随,证明方山—小丹阳断裂属压扭性,后期有左行走向滑移且切割较深。

南京—湖熟断裂(F_3):北西向延长40 km以上,明显切割南京幕府山及青龙山等地以古生代地层为主的褶皱。宁芜火山岩仅分布在该断裂带以南,故它构成其北部边界。在江宁县东山镇一带可见宽达数百米的密集劈理带,故属压扭性。

三山—宣城断裂(F_4):北西向延长约50 km,向东可延至广德县一带。为一明显的重力梯度带,且上延20 km仍很清楚,估计切割很深。中生代火山岩仅零星出露于该断裂北侧,以南为大片古生代地层分布区,故判断它为宁芜盆地的南部边界。

除上述边界断裂外,还有很多等间距(约15 km—20 km)分布的北西向—近东西向断裂,如盆地内部的马鞍山—釜山断裂(F_5)及盆地北江苏六合县境(即邻区)的一些断裂(F_6 等),它们在航磁、重力图上都有明显反映。

宁芜中生代火山喷发告竭后,从晚白垩纪到新生代,新构造运动大多继承上述边界断裂重新活动,如沿原断裂带形成一些卵形或勺状洼地,沉积了以红色岩系为主的磨拉石建造(浦口组、赤山组、洞玄观组及雨花台组等),并先后为新生代玄武岩喷发提供了通道。

2 玄武岩的地质特征

沿边界断裂带,新生代玄武岩主要有三期喷发:

第一期喷发(β_1):始于早第三纪,为高铝—拉斑玄武岩的过渡类型,以石金山玄武岩为代表,K-Ar 稀释法年龄约55—65 Ma⁽³⁾,主要沿盆地西缘长江剪切破碎带两侧分布。

石金山玄武岩位于该破碎带北部,见于南京市城南西善桥一带,呈北东向延长的串珠状覆于中生代火山岩之上并为雨花台组砾石层掩盖。在铁心桥北一带,该岩结晶变粗并明

① 宁芜联合构造小组(1975),宁芜中生代火山盆地构造特征。

显侵入于中生代火山岩中呈次火山相(辉绿岩)。

破碎带南段的玄武岩,位于安徽省和县姥桥以南地区,呈北北东向零星出露于塔山观—土山一线,四周为第四系掩盖,关系不详。岩性以安山玄武岩为主。本期喷发呈裂隙式链状火山。

第二期喷发(β_2):发育于晚第三纪,又可分早、中、晚三次(β_{2-1} , β_{2-2} , β_{2-3}),一般说每次喷发的下部以响碧玄武岩为主,可以当涂县釜山玄武岩为代表,类似的有红角渡、三叉河等地;中、上部以碱性橄榄玄武岩为主,以江宁县方山玄武岩为代表,类似的有脉腰及六合县的马头山、横山及小盘山等地。该类玄武岩的K-Ar稀释法年龄约6—14 Ma,主要沿盆地东部方山—小丹阳边界断裂及其与北西向断裂的交叉点分布。火山机体以岩锥、岩筒为主,溢流相不甚发育。岩石中含较多的幔源二辉橄榄岩包体、捕虏晶及下伏地层的岩块,是本区玄武岩喷发的鼎盛时代且最具特色。

方山玄武岩主要呈熔岩台地及岩锥状,以往报道较多,不再赘述。釜山(包括红角渡、三叉河等)玄武岩以岩筒为主,它们是宁芜盆缘东南部主要的火山构造型式。

釜山岩筒位于丹阳湖畔,是一馒头形孤山,四周为河网环绕,岩筒平面呈浑圆形,直径约200 m(图2)。响碧玄质集块角砾岩—角砾熔岩(f_1)紧贴岩筒四壁,局部又超覆于赤山组之上。岩石呈灰紫色角砾斑杂状。爆发碎屑为:(1)火山弹:黑色,多呈纺锤形,长约10—25 cm,边缘气孔较密集;(2)浆屑:黑色,不规则枝叉状,大者达70 cm,边缘有厚约5 mm的酱紫色“淬火边”,内部由长条状斜长石定向排列并显示旋扭的流动构造;(3)浮岩渣:灰色不规则状,一般小于10 cm;(4)巨斑碎晶:主要为黑绿色辉石巨斑,一般2—5 cm,次为橙红色石榴石和黑云母晶片;(5)异源深部岩屑:以出现频率高低为序大致是:赤山组砂砾岩块、龙王山组(J_3l)角闪粗安岩屑、西横山组(J_2x)钙质杂砾岩,象山群—黄马青组(J_1Xn-T_2h)砂岩、粉砂岩屑及偶见的电气石花岗岩岩块和硬石膏晶屑等。

响碧玄武岩(f_2)和响碧玄质辉绿岩(f_3)位于岩筒中央构成岩颈,平面略显丁字状,侵入于响碧玄质火山碎屑岩中并显示受两组断裂交叉点控制的特点。

在岩筒东侧局部可见集块角砾岩与赤山组砂砾岩陡斜的接触面为锯齿状(图3)并有构造分带现象:A为响碧玄质集块角砾岩,B为挤压片理带,紫红色,厚约20 cm,原可能为一侵入接触带,C为响碧玄质角砾熔岩,灰紫色,气孔及杏仁体构造发育,常见辉石、黑云母、石榴石和透辉石捕虏晶,与响碧玄武岩呈波状侵入接触并有烘烤边。

响碧玄武岩(f_2)为灰黑色,略显柱状节理,气孔顺接触带方向拉长排列,可见橄榄石斑晶和二辉橄榄岩包体,一般为2—5 cm。响碧玄质辉绿岩(f_3)与响碧玄武岩为隐蔽侵入或过渡状接触,以隐石榴状构造最发育为特征,具薄板状节理且大致向岩体中心倾斜,二辉橄榄岩等包体最多。

沿丹阳新河向北约5 km,在新市大桥下见一近南北向延长的安山玄武岩体,从气孔歪斜特点判断它自南向北流动,估计可能为釜山火山喷发早期的舌状岩流层。

第三期喷发(β_3):属早更新世,以桂枝山富钛响碧玄武岩为代表,热释光法年龄约1 Ma,沿近东西及北西向断裂交叉点分布,覆于雨花台组之上并为下蜀组掩盖。以溢出溢流相为主,由于发育极为壮观的多角形柱状节理而被辟为旅游景点。

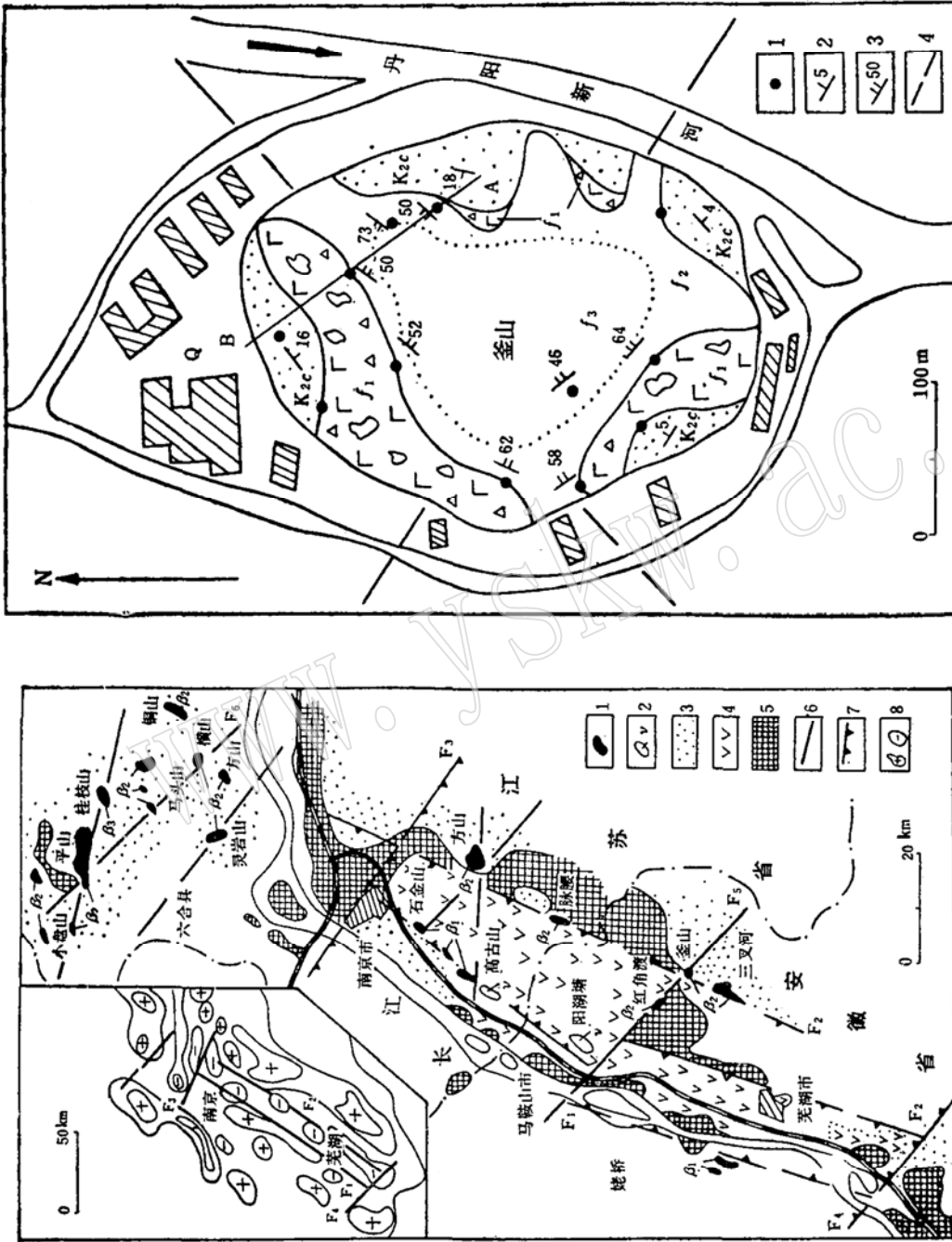


图 1 宁芜盆地边缘断裂带及邻区新生代玄武岩分布略图

Fig. 1 Sketch map showing distribution of Cenozoic basalts along boundary

fault zone of Nanjing-Wuhu volcanic basin and its adjacent regions

1—新生代各期(β_1 — β_3)玄武岩; 2—中生代基性岩体; 3— K_2 -N 碎屑岩; 4—中生代火山岩; 5—前侏罗纪地层; 6—断裂; 7—边界断裂; 8—正、负重力值区

图 2 釜山玄武岩筒地质略图

Fig. 2 Geological sketch map showing

the Fushan basalt volcanic pipe

1—观察点; 2—层理产状; 3—薄板状节理产状; 4—断裂
 f_1 —响碧玄质集块角砾岩—角砾熔岩; f_2 —响碧玄武岩; f_3 —响碧玄质辉绿岩

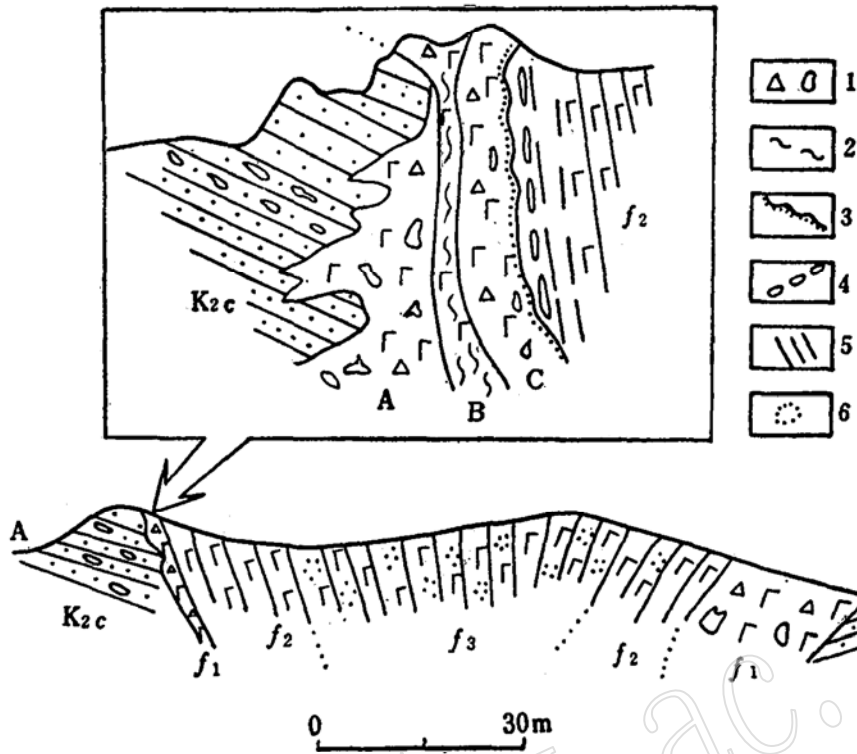


图 3 釜山岩筒剖面图 (位置见图 2)

Fig. 3 Geological section cross the Fushan volcanic pipe

1—集块/角砾; 2—挤压片理; 3—烘烤边; 4—气孔带; 5—薄板状节理; 6—隐石榴状构造, 其余同图 2

3 玄武岩的岩石学特征

本区玄武岩成分较简单, 据 Streckensen (1979) 分类^[4], 主要属高铝—拉斑玄武岩、碱性橄榄玄武岩和响碧玄武岩三种。其 QPAF 向量投影见图 4。化学成分、标准矿物及岩石化学参数见表 1。

3.1 高铝—拉斑玄武岩: 仅见于第一期喷发岩中, 呈岩被相。石金山玄武岩具灰黑色细粒结构, 镜下粗玄结构。橄榄石含量甚少 (<5%), 且多转变为伊丁石或滑石; 辉石主要为普通辉石, 0.24 × 0.2 mm 大小, 含量 20% 左右; 斜长石以中拉长石 (An=46—52) 为主, 占 60% 左右。薄片未见原生石英。岩石化学成分相当石英安山岩, 里特曼指数 1.6 左右。土山一带安山玄武岩呈灰黑色斑状, 斑晶为橄榄石 (5%—10%), 少量辉石和斜长石, 基质间粒结构—玻晶交织结构, 由斜长石 (An=40—50) 55%—60%、普通辉石 10%—25%、玻璃质 10%—25% 及少量橄榄石、磁铁矿组成。

3.2 碱性橄榄玄武岩: 发育于第二期各次喷发岩的中上部, 呈岩被相。灰黑色致密状, 镜下斑状、隐晶—粗玄结构。橄榄石含量较高 (10%±), 普通辉石约占 18%—34%, 斜长石以中长石 (An=34—46) 为主, 占 40%—60%。里特曼指数 2.4—5.8。

3.3 响碧玄武岩: 发育于第三期喷发岩及第二期喷发岩的下部, 二辉橄榄岩包体及深部围岩碎屑较多, 以岩颈相为主。灰黑色细粒结构, 镜下间粒结构—嵌晶含长结构。常见橄榄石、辉石及少量黑云母巨斑。橄榄石含量约 11%—17%, 其中巨斑多呈自形晶, 普遍有

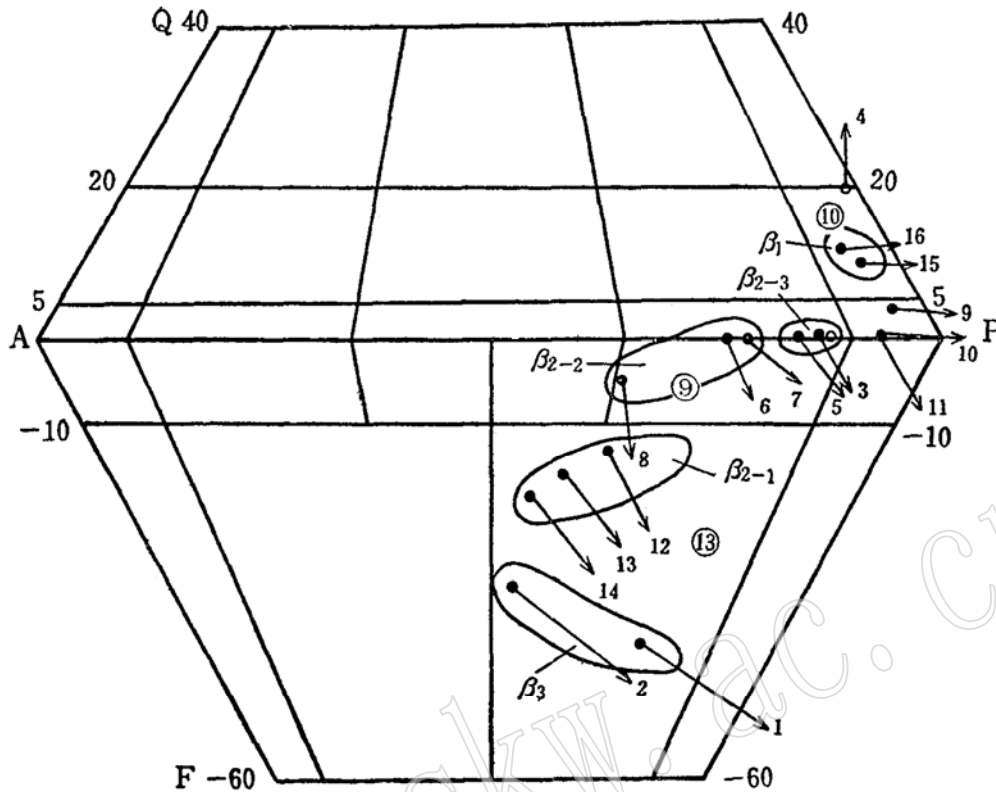


图 4 玄武岩的 QPAF 向量投影

(据 Streckenesn (1979), 向量投影据赵玉琛 (1986))

Fig. 4 QPAF-vector projective diagram of basalts

方框中数字为岩区代号: 9—碱性玄武岩区; 10—拉斑玄武岩区; 13—响碧玄岩区

“环圈式”伊丁石化现象，即晶体外缘和内核新鲜，其间为纤维状伊丁石和条状橄榄石集合体，均呈多束状交错聚合，自外缘向内生长。辉石含量约 20%—40%，主要为普通辉石，次为透辉石，均无反应边结构。黑云母呈碎片状，新鲜，无火山岩中常见的暗化现象。斜长石晶体细小，呈骨架状排列，含量约 15%—30%。霞石主要存在于玻璃质中，个别薄片（釜-4）中见其六边形自形晶，具网格状不完全解理，低负突起，内含沸石类发状雏晶。岩石里特曼指数个别为 -17，一般波动于 9—80 之间。

隐石榴状构造是该类岩石的宏观识别标志，呈多角状—圆粒状影象出现于岩石表面，湿水后更为清楚。但镜下反复观察，它并无明显边界，主要由暗色矿物分布多寡和部分边界沿微裂隙发育而成。可能与冷却条件有关，尚须进一步研究。

4 玄武岩中的同源包体、捕虏晶及异源碎屑

4.1 同源包体成分及特征: 主要分布于岩颈相响碧玄岩中，次为碱性橄榄玄武岩，拉斑系列玄武岩中迄今尚未发现。包体成分主要为二辉橄榄岩、次为方辉橄榄岩。黄绿色，大小几—20 cm。形态不一，呈椭圆形、棱角一半棱角状、鸡骨状和方块状等。在寄主岩中分布不均，但以岩颈相边缘较多。部分包体及矿物分析见表 2、3。由表 2 可见，包体

表 1 玄武岩化学成分、里特曼标准矿物及岩石参数
Table 1 Chemical compositions, Rittmann norm and petrochemical parameters of basalts

序号	期次	产地	岩石名称	氧化物含量 (wt%)													总计
				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		
1	β ₃	桂枝山	响碧玄武岩	41.21	2.66	12.5	3.73	8.35	0.18	7.99	10.77	4.69	0.91	0.89	6.45	100.24	
2		桂枝山	响碧玄武岩	43.45	2.01	12.26	2.96	9.11	0.19	10.29	9.82	4.26	1.73	2.02	2.99	100.03	
3	β ₂₋₃	江宁方山	橄榄玄武岩	50.10	2.33	17.78	6.38	4.09	0.10	4.12	8.07	3.86	1.76	0.46	0.35	99.40	
4		六合方山	橄榄玄武岩	48.99	2.39	17.39	13.00	0.54	0.12	3.85	6.20	3.40	1.03	0.42	1.97	99.30	
5		马头山	橄榄玄武岩	49.77	1.45	15.80	5.66	4.78	0.116	6.88	7.65	3.43	1.66	0.43	2.36	99.99	
6	β ₂₋₂	黄岗	橄榄玄武岩	49.96	1.70	15.71	6.05	4.85	0.165	5.61	7.85	3.83	2.10	0.454	1.57	99.85	
7		小盘山	橄榄玄武岩	50.88	1.80	15.67	6.90	4.19	0.119	5.00	7.33	3.83	2.10	0.501	2.104	100.43	
8		灵岩山	橄榄玄武岩	50.23	1.81	15.37	4.62	6.01	0.165	6.40	8.14	4.01	2.47	0.468	0.67	100.36	
9		横山	橄榄玄武岩	52.41	1.70	15.36	6.92	3.68	0.133	5.18	7.37	3.72	1.08	0.286	0.96	98.81	
10	β ₂₋₁	小盘山	橄榄玄武岩	49.69	1.85	13.63	4.13	6.82	0.112	8.02	7.75	2.87	1.22	0.367	2.822	99.28	
11		江宁方山	橄榄玄武岩	47.17	1.28	15.16	4.03	6.88	0.12	7.39	8.41	3.21	1.07	0.69	1.26	96.61	
12		六合方山	响碧玄武岩	47.1	2.33	14.93	1.91	8.68	0.15	9.78	7.06	4.16	2.24	0.53	1.01	99.88	
13		釜山	响碧玄武岩	46.75	1.74	14.28	6.62	6.00	0.19	6.46	8.28	4.37	2.28	0.63	2.09	99.69	
14		釜山	响碧玄武岩	44.47	3.36	13.30	4.68	6.35	0.15	7.48	8.23	4.20	2.24	0.76	4.96	100.18	
15	β ₁	石金山	玄武岩	54.60	0.86	17.18	3.96	3.08	0.117	4.78	7.65	3.19	1.14	0.271	2.22	99.08	
16		石金山	玄武岩	55.08	0.75	16.77	2.37	4.70	0.12	4.34	7.47	3.38	1.02	0.21	3.80	100.01	

续表 1

序号	里特曼标准矿物 (Vol %)										岩石参数						R ₁₀₈
	Ap	Il	Mt	Pr	Ol	Nc(Q)	Or	Pl	A	M	SI	DI	σ	τ	岩石编码		
1	2.13	0.47	2.18	38.19	11.16	18.78	5.83	21.83	1.16	0.63	30.9	35.5	-17.51	3.93	V 534078	-65.58	
2	2.18	0.33	2.26	32.40	16.3	15.53	14.98	15.98	1.25	0.66	36.3	38.5	79.73	3.98	V 523451	-60.70	
3	0.97	2.41	1.54	12.91	6.26		10.67	65.20	2.20	0.64	20.4	43.3	4.44	5.97	V 230085	-68.54	
4	0.88	1.24	1.17	24.04	15.01			57.32	2.80	0.93	17.6	28.6	3.87	3.85	V 270099	-67.75	
5	0.93	1.48	1.14	18.33	8.65		11.13	57.81	2.06	0.72	30.7	40.0	3.82	8.53	V 300083	-60.00	
6	0.97	1.58	1.83	14.75	10.09	0.62	16.2	53.91	2.00	0.67	25.0	43.8	5.05	6.98	V 280116	-65.71	
7	1.09	1.74	1.81	17.96	5.94		15.73	55.69	2.14	0.68	22.7	43.6	4.46	6.57	V 280077	-66.84	
8	0.99	1.46	1.85	18.25	10.02	4.10	21.61	41.67	1.89	0.66	27.2	46.5	5.80	6.27	V 320765	-66.05	
9	0.61	1.72	1.58	26.91		(2.31)	2.06	64.78	2.03	0.72	25.2	36.8	2.44	6.84	V 300395	-63.37	
10	0.81	1.84	1.55	34.23	2.01		7.17	52.36	1.76	0.68	34.8	33.3	2.50	5.81	V 400087	-46.69	
11	1.55	1.35	1.71	18.30	11.39		4.24	61.44	1.80	0.66	32.7	35.0	4.39	9.33	V 330092	-53.84	
12	1.14	2.05	1.83	14.47	17.34	8.84	18.57	35.74	2.11	0.67	36.5	45.3	9.99	4.62	V 361465	-62.03	
13	1.40	1.12	2.41	22.40	11.11	18.31	20.52	30.70	1.72	0.66	25.1	54.2	11.79	5.69	V 381759	-70.34	
14	1.73	1.85	1.76	25.04	11.27	11.28	21.30	25.73	1.62	0.68	30.0	45.4	28.21	2.70	V 412054	-63.98	
15	0.57	0.93	1.33	19.86		(8.30)	2.35	66.63	2.25	0.73	29.6	44.0	1.61	16.26	V 221095	-59.07	
16	0.44	0.80	1.42	19.49		(9.28)	3.63	64.90	2.24	0.62	27.5	45.4	1.60	17.85	V 211193	-58.62	

样品分析: 13 据赵大升等 (1983)⁽¹⁾; 14 为本文数据; 其余据邵家骥等 (1985)⁽²⁾。

里特曼标准矿物: Ap—磷灰石; Il—钛铁矿; Mt—磁铁矿; Pr—辉石; Ol—橄榄石; Or—斜长石; Q—石英; Nc—霞石; Or—钾长石; Pl—斜长石

岩石化学参数: A = Al₂O₃/CaO; M = Mg / (Mg + Fe²⁺); SI—固结指数; DI—分异指数; σ—里特曼指数; τ—赖特碱度率。

岩石编码据赵玉琛 (1986)⁽³⁾; R₁₀₈—含金金刚石性之判别值, 据种瑞元 (1981)⁽⁴⁾。

表2 二辉橄榄岩包体化学成分及CIPW标准矿物

Table 2 Chemical compositions and CIPW norm of lherzolite inclusions

序号	产地	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	其它	合计
1	江苏六合 ⁽⁷⁾	47.76	0.15	2.79	0.38	1.04	8.29	0.26	0.25	36.3	2.42	0.29	0.02	0.08		100.03
2	釜山 ^①	44.38	0.26	1.63	—	1.73	8.57	0.16	—	37.52	1.84	0.20	0.10	—	3.06	99.43
3	世界平均 (85)个 ^①	45.00	0.06	2.80	0.45	1.47	6.63	0.11	0.25	40.1	2.93	0.20	0.03	—		100.03
4	地幔岩 ⁽⁷⁾	45.20	0.7	3.5	0.4	0.5	8.0	0.1	—	37.5	3.1	0.6	0.1	0.06		99.76

CIPW 标准矿物 (%)															
序号	Or	Ab	An	Di			Hy		Ol		Mt	Cm	Il	Ap	总计
				Wo	En	Fs	En	Fs	Fo	Fa					
1	0.11	2.45	6.25	2.20	1.70	0.26	33.66	5.31	38.56	6.70	1.50	0.55	0.28	0.18	99.79
2	0.59	1.69	3.25	2.41	1.86	0.28	25.07	3.80	46.59	7.79	2.50		0.49		96.36

注：① 据安徽省区域地质志（1987）。

主要化学成分（SiO₂、MgO等）与世界标准地点及地幔岩成分相似。矿物成分为橄榄石（贵橄榄石），Fo值变化于90.21%—94.42%间，含量约45%—54%^①；斜方辉石（顽火辉石）占30%—40%；单斜辉石（透辉石质普通辉石）占4%—5%；斜长石（An=66—72^①）占6%—9%，尖晶石（镁铁尖晶石）≤2%。

4.2 捕虏晶：常与包体伴生，但以集块角砾岩中最多。主要为普通辉石，次为透辉石、黑云母、橄榄石、石榴石，偶见歪长石。普通辉石为黝黑色巨晶，长柱状、厚板状及其它不规则状，在岩石表面上呈疙瘩状突出，一般2—5 cm，大者达10 cm以上；透辉石呈翠绿色，米粒状，一般小于0.5 cm；黑云母多呈碎片状，无暗化边；橄榄石为黄绿色、粒状，一般为0.3 cm；石榴石为橙色、碎屑状、半自形晶粒状，成分为镁铝榴石—铁铝榴石（表3），常在岩颈与角砾熔岩接触带上出现。

4.3 异源碎屑：除前述常见的浅部地层岩块外，还在薄片中发现按正常层序估计应深埋地下约1 km处的地层岩屑，一般呈棱角状，大小约1—10 mm。主要有粉砂岩、炭质页岩、膏岩和辉石安山玢岩。膏岩具半自形柱粒结构，由电气石、石英及石膏组成。石膏晶体中残留树枝状骸晶。

5 玄武岩的形成条件及边界断裂构造演化与矿产关系的探讨

5.1 玄武岩的形成条件分析：据表1成分的电算聚类（图5），按距离系数 $d=1.3$ 的相似性水平，除4号样因Fe₂O₃含量特高未能聚类外，大致可分三簇：其中1、2号样为一簇，代表第三期喷发岩；12—14号样为一簇，代表第二期喷发岩的下部岩性，虽然两

① 按标准矿物含量统计。

表 3 包体矿物及捕虏晶化学成分和晶体化学系数
Table 3 Chemical compositions and crystallochemical coefficient of minerals and chadacrysts in lherzolite inclusions

序号	矿物	产地	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	其它	合计	端员矿物 (%)
1	橄榄石	六合方山	39.55	0.00	0.06	—	—	9.87*	0.15	50.77	0.19	0.14	0.02	—	100.75	Fo = 94.42, Fa = 5.57
2	橄榄石	六合马头山	40.64	0.04	0.66	0.30	—	8.55	0.11	46.44	1.33	0.24	0.00	—	98.31	Fo = 90.70, Fa = 9.29
3	橄榄石	江宁方山	41.76	0.02	0.00	0.65	—	9.19	0.13	48.11	0.16	0.04	0.00	—	100.06	Fo = 90.21, Fa = 9.78
4	斜方辉石	六合方山	53.55	1.00	4.09	1.06	0.16	5.64	0.17	32.55	0.74	0.15	0.03	0.31	99.45	Ac = 1.18, Ti = 2.7, Q ₃ = 0.14, En = 87.22, Fs = 8.73
5	单斜辉石	六合方山	51.07	0.46	7.03	—	0.63	3.72*	0.09	16.16	20.54	1.67	0.11	—	101.48	Jd = 11.84, Ti = 1.21, Qj = 7.34, Di = 73.59, En = 5.42, Fs = 5.58
6	单斜辉石	六合马头山	50.56	0.28	4.46	—	—	3.10*	0.15	17.34	19.77	1.63	0.07	—	97.36	Jd = 11.51, Ti = 0.74, Di = 74.28, En = 8.64, Fs = 4.81
7	单斜辉石	江宁方山	48.41	1.15	4.00	0.21	10.82*	0.22	12.55	20.80	0.58	0.28	—	—	99.02	Ac = 8.95, Ti = 5.22, Qj = 16.86, En = 60.18, Fs = 16.12
8	单斜辉石▲	当涂釜山	50.51	0.47	6.5	1.41	—	4.15	0.09	16.14	19.78	1.74	痕	—	100.79	Ac = 3.71, Jd = 8.1, Ti = 1.23, Qj = 4.08, Di = 68.95, En = 7.68, Fs = 6.21
9	石榴石▲	当涂釜山	41.7	0.51	51.75	1.6	痕	13.23	0.53	15.86	5.09	—	—	—	100.27	And = 4.44, Pyr = 58.22, Gro = 8.98, Spe = 1.1, Alm = 27.24
10	尖晶石	六合	0.25	—	56.16	10.27	—	12.2	0.17	21.25	0.1	NiO 0.38	ZnO 0.19	—	100.97	—

资料来源: 1-3, 5-6 引自 [8]; 4, 10 引自 [7]; 8-9 引自 [4]。

注: *FeO = TFe, Fe₂O₃ 按剩余氧法换算。端员矿物: Ac—顽石; Jd—钙石; Ti—钛辉石; Qj—钙(铁) 契尔马克分子; And—钙铁榴石; Pyr—镁铝榴石; Gro—钙铝榴石; Spe—锰铝榴石; Alm—铁铝榴石; ▲ 为捕虏晶。

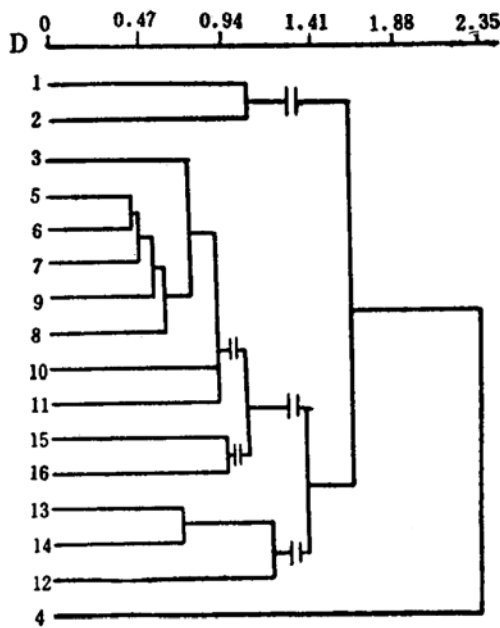


图 5 玄武岩 Q 型聚类谱系

Fig. 5 Q-type cluster lineage diagram of the basalts

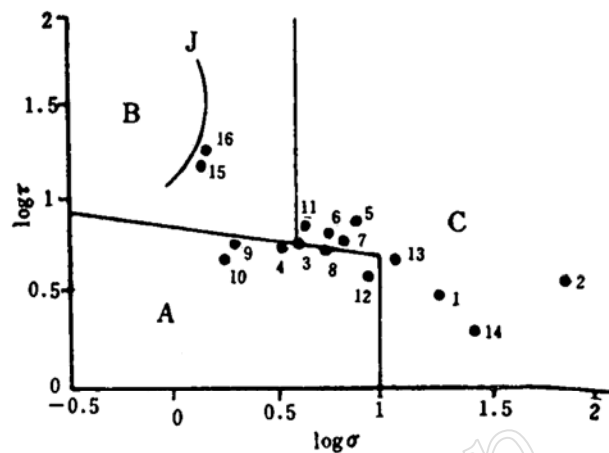


图 6 玄武岩的 $\log\tau$ — $\log\sigma$ 投影

Fig. 6 $\log\tau$ — $\log\sigma$ diagram of the basalts

者同为响碧玄岩，但因喷发时间不同而岩石化学总体特征也有差异；其余岩样构成一个大簇团，主要代表第二期喷发的中上部岩性，但在 $d \approx 1$ 的相似水平上，可将 15、16 号样与之分开构成一个亚簇团，代表第一期喷发岩。显然，区内玄武岩的岩石化学成分聚类与地质观察基本一致。

据 Engle (1965) Na/K 比值法^[9]计算，除桂枝山 1 号样大于 6，接近岛弧型外，其余波动于 2.46—5.23 之间，平均为 3.46，均应属大陆玄武岩。按 $\log\sigma$ — $\log\tau$ 投影（图 6），区内玄武岩主要位于 A、B 区交界线附近，应属稳定板块内部局部构造活动（深断裂、裂谷）的产物。其中响碧玄岩多属派生的碱性岩，而高铝—拉斑玄武岩则类似造山带环境。

据固结指数 (SI) 与 MgO、Na₂O、FeO 及 P₂O₅ 含量的相关投影（图 7），均有明显的线性关系，其中 MgO 与 FeO 表现最明显。按久野 (1971)^[9] 观点应为玄武岩浆同化混染大陆壳的结果。

众所周知，P、Ti 和 K 等元素为地幔橄榄岩主要矿物相的不相容元素，它们随着地幔橄榄岩熔融程度的升高而于熔体中浓度相对变低。另外，在地幔岩熔融过程中，Al 比 Ca 更易进入熔体，故随地幔橄榄岩熔融程度的升高，形成的玄武岩浆中 Al₂O₃/CaO 值应愈近于原始地幔的比值（约为 1:1）。区内玄武岩中 P、Ti、K 等含量均较高，约为地幔岩的 1.15—18.8 倍，Al₂O₃/CaO 值均大于 1 (1.57—2.24)，前者从拉斑玄武岩—碱性橄榄玄武岩—响碧玄岩顺序依次增大；后者依次减小（表 4）。故它们分别是地幔橄榄岩顺次不同程度低度熔融的产物。

据寄主岩——釜山响碧玄岩（表 1，14 号样）与同源包体（表 2，2 号样）的 MgO 含量为横坐标，取原始地幔岩 MgO 值为 37.5%，用扣除法估算（略）的釜山岩筒寄主岩熔

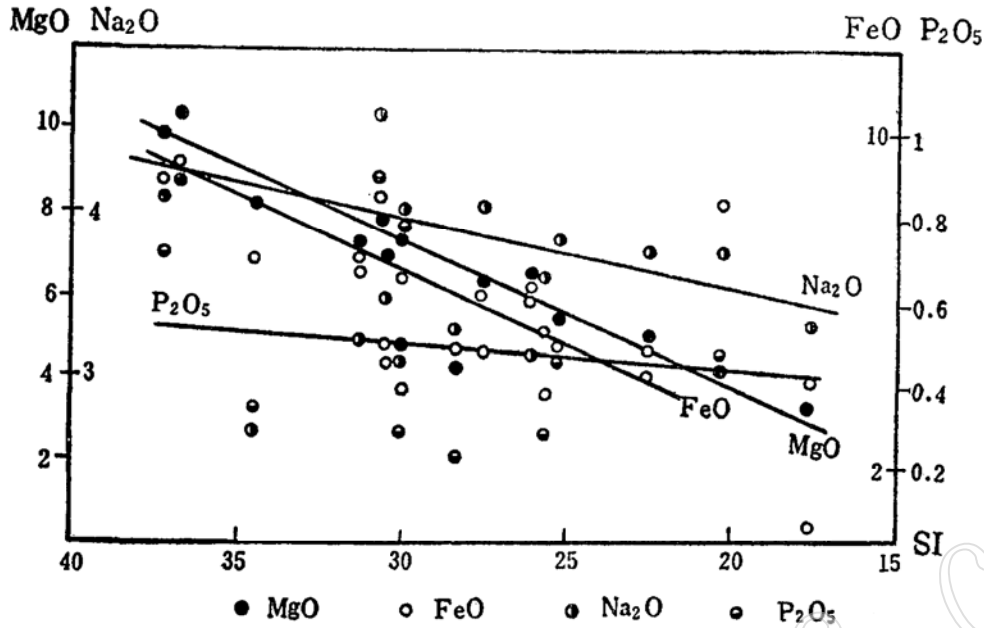


图 7 玄武岩固结指数 (SI) 与某些氧化物相关图

Fig. 7 Correlation of oxides versus solidification index (SI) of the basalts

表 4 玄武岩中某些元素比值统计

Table 4 Statistical ratios for some elements in the basalts

元 素	响碧玄武岩 (5 个)	碱性橄榄玄武岩 (9 个)	拉斑玄武岩 (2 个)
P ₂ O ₅ *	0.3—14.8 (9.4)	4.8—11.5 (7.6)	3.5—4.5 (4)
TiO ₂ *	2.5—4.8 (3.5)	1.8—3.4 (2.6)	1.1—1.2 (1.2)
K ₂ O *	10.3—22.4 (18.8)	10.7—24.7 (16.1)	10.2—11.4 (10.8)
Al ₂ O ₃ /CaO	1.16—2.11 (1.57)	1.76—2.80 (2.08)	2.24—2.25 (2.24)

注: *与地幔岩 (表 2) 的比值, 括号中值为平均值。

融程度 < 1% (0.0066%)。区内二辉橄榄岩包体成分与世界平均值和地幔岩均很接近, 另外, 六合地区 6 个包体中的单斜辉石 Al^{IV}-Al^{VI} 投影, 均集中在原始地幔区, 个别为过渡地幔区 (肖增岳等, 1989)^[10], 说明它们就是原始地幔岩的残块。据赵大升等 (1983) 对釜山岩筒中单斜辉石和石榴石巨晶研究推算, 其生成深度约为 55—90 km, 淬火温度为 1135—1147℃^[4]。

从寄主岩 (主要为响碧玄武岩) M 值 (0.63—0.68) 看, 接近 Ringwood (1975)^[10] 提出的饱满型地幔橄榄岩成分, 且其固结指数在区内最大 (接近 40), 分异指数偏低等, 也说明它近于原始岩浆。

从图 4 各玄武岩投影点变化趋势看: β_3 和 β_1 应为两个端员成分。前者为原始岩浆, 后者似终端演化产物, β_2 是其中间阶段连续演化产物。

5.2 边界断裂构造演化与玄武岩喷发的关系

如前所述, 长江破碎带是切割深度不大的剪切拉张性破碎带。该断裂活动最早, 如其中

段就为燕山晚期的辉长岩(马鞍山市阳湖塘岩体)和辉绿岩(江宁县高古山岩体)等沿线侵入。它的南、北两段控制着第一期玄武岩喷发,属高铝—拉斑玄武岩系列,无幔源包体,由混染陆壳的再生玄武岩浆形成,生成深度亦应较浅,其原始岩浆可能没有喷出地表。

方山—小丹阳断裂为切割较深的压扭性断裂,导致深源的第二期响碧玄武岩—碱性橄榄玄武岩沿其喷发,并有明显的连续分异演化趋势。

宁芜盆地南、北两个边界断裂带内尚未发现玄武岩分布。但与其性质相似的盆内马鞍山—釜山断裂(F_5)和盆外的六合断裂(F_6)带内均有第二、三期玄武岩分布。从重力上延图件看切割很深,原始岩浆携带大量地幔岩残块能直接喷出地表。它们除受北西向断裂控制外,还与叠加的东西向壳断裂有关。据调查,此类断裂多为扭性,从河网、三角面、阶地等微地貌及地震带判断,其形成时代均最年轻且大多数构成我国东部新生代断陷盆地的边界。

由此可见,本区玄武岩的喷发序次、岩性、生成深度及火山构造类型等无不与边界断裂的性质、切割深度及发育早晚等有明显的相依关系。

5.3 玄武岩喷发与矿产的关系

据报道,一些玄武岩中相继找到金刚石。60—70年代,我们也曾对釜山、三叉河等岩筒投入一定找金刚石工作量,但未获成效。据含金刚石岩的数学判别式,其临界值 $R_0 = -2.25$,含金刚石玄武岩类平均判别值为 $-0.19^{[6]}$ 。经计算区内玄武岩 R_{108} 值变化于 $-46.69 \sim -70.34$ (表1),距含金刚石玄武岩相去甚远,故无找矿前景。

随花岗石板材外贸途径的拓宽,区内玄武岩依自然节理可切割成方形、多角形等异型薄板,抛光后得“雪花墨玉”、“斑绿”(橄榄玄武岩)和“夜空石”(石榴状玄武岩)等品种,深受欢迎。另外,开采和加工后的碎石、岩屑,大多符合生产岩棉标准(已试产)。因此,它基本是一种“无废”资源,无疑有巨大的潜在经济价值。

宁芜玢岩铁硫矿床具“三部八式”分布规律^[11]。其下部矿主要与三叠纪灰岩+苕岩层位和辉石闪长(安山)玢岩有关。已在盆地内部900 m以下深处发现此种铁矿,因埋藏太深,现阶段未再工作。从釜山等岩筒带上的深部岩屑看,有这两种成矿标志的岩性存在。故在未来查证宁芜盆地本身下部矿产时,不应遗忘这些边界地带贮矿的可能性。

参 考 文 献

- 1 翁世勃. 中国东南部侏罗—白垩纪板块构造活动与相关的岩浆活动. 地质学报, 1983, 57(2): 119—127.
- 2 董树文. 长江中下游地壳物质的构造动力调整作用. 地质学报, 1989, 36(2): 97—110.
- 3 邵家骥等. 南京地区新生代玄武岩期次、层序及时代. 地质论评, 1989, 35(2): 97—106.
- 4 赵大升等. 庐断裂带及其邻近地区新生代火山岩岩石特征及成因探讨. 地质学报, 57(2): 128—141.
- 5 赵玉琛. 岩石化学换算和编码的电算方法及其应用. 岩石学报, 1986, 2(4): 55—68.
- 6 种瑞元. 金伯利岩的岩石化学特征与含金刚石程度的判别. 地球化学, 1981, (4): 356—364.
- 7 黄婉康等. 我国东部玄武岩中尖晶石二辉橄榄岩包体的矿物研究. 矿物学报, 1982, (3): 175—187.
- 8 周新民等. 江苏碱性玄武岩中橄榄石和辉石的成分及演化. 地球化学, 1980, (3): 251—262.
- 9 邱家骥等. 汉诺坝玄武岩板块构造环境及岩浆成因机理的分析. 岩石学报, 1986, 2(3): 1—12.
- 10 肖增岳等. 韭菜地等地的新生代玄武岩及其超镁铁岩包体的岩石学研究. 岩石矿物学杂志, 1989, 8(2): 110—119.
- 11 赵玉琛. 宁芜玢岩铁硫矿床成矿规律和找矿预测研究. 矿床地质, 1990, 9(1): 1—12.

Geological Characteristics and Significance of Cenozoic Basalts Along the Boundary Fault Zones of the Nanjing-Wuhu Volcanic Basin and Its Adjacent Regions

Zhao Yushen

(322 Geological Team, BGMR of Anhui Province, Maanshan, 243034)

Key words: Nanjing-Wuhu volcanic basin; boundary fault; basalt

Abstract

The Nanjing—Wuhu volcanic basin is bounded by the faults stretching mainly in nearly NE and NW directions. Its western boundary, a tension—shearing fault, is the Yangtze fragmented zone, developed prior to early Tertiary and with relatively shallow dissection. The eastern boundary, a compression-shearing fault, is the Fangshan-Xiaodanyang fault, cutting deeply. As the youngest in age, the northern and southern limits belong to the shearing fault.

The volcanic eruption of Cenozoic basalts is considered to be controlled by the characteristics and tectonic evolution of boundary faults. It may be divided into 3 stages. The first eruption occurred during early Tertiary along the Yangtze fragmented zone with a shallower dissection, resulting in the formation of the high-aluminium basalt to the tholeiite. The second took place during late Tertiary along the Fangshan-Xiaodanyang fault, producing the phonolitic tephrite followed by the alkali-olivine basalt, which are characterized by the presence of the inclusions of mantle-peridotite and the blocks of underlying rocks, hence implying quite a deep magmatic source. The third eruption occurred in early Pleistocene and was controlled by intersection of NW- and EW-trending faults, forming the titanium-rich phonolitic tephrite.

According to the calculating balance of basalts, it is rather difficult to find diamond in these basalts, but a few depth-derived blocks obtained from basalt pipes here indicate that the boundary fault zones may be a possible target for prospecting iron ore-deposits at lower levels in the Nanjing-Wuhu volcanic basin.