

第三章 岩浆岩及岩浆活动

宁镇山脉岩浆岩的基岩面积近650平方公里，但大部分被第四系覆盖，出露仅150平方公里。其中，中酸性岩占75-80%，余者依次为中性岩、酸性岩、基性岩和超基性岩。

宁镇山脉是我国岩浆岩研究工作开展较早的地区之一。早在30-40年代李学清、叶良辅、喻德渊⁽¹⁵⁹⁾、程裕淇、沈永和等⁽¹⁴⁰⁾就比较系统地研究了本区的火成岩，对岩浆岩进行了分类、侵入期次的划分，并探讨了岩浆分异、岩浆作用和与构造作用及矿产的关系，这些成果至今都有重要的参考价值。中华人民共和国成立以来，江苏和安徽地质矿产局、中国科学院地质矿产研究所、地质矿产部南京地质矿产研究所、南京大学地质系等单位和一些专家、学者先后开展了区域地质调查或专题研究，积累了丰富的资料。江苏省调大队在1:5万宁镇山脉区域地质调查中，全面系统地总结了本区的岩浆活动，是编著本志的基础。

本区岩浆活动主要发生在燕山期，其次为喜马拉雅期，早一中元古代和海西期也有强弱不等的活动(表III-1)。燕山期的岩浆活动具有多旋回、多阶段和多样化的特点，形成了规模甚大的宁镇山脉火山—侵入杂岩体。它们大体上呈东西向展布。根据岩浆岩属性在空间分布上的差异，并结合区域地质构造背景，大致以方山一小丹阳断裂和茅山断裂为界，将本区岩浆岩划分为西(紫金山地区)、中(汤山—镇江)、东(镇江—谏壁)三个岩区。岩浆活动的时空关系表现为：随着时间的发展，岩浆活动中心由西(南)逐步向东(北)迁移，岩石类型由基性向酸性演化。

就岩浆源而言，本区岩浆岩成因类型有两种：一是幔源型；二是幔-壳混合型(同熔型)。与之有关的成矿系列为铁、铜、钼、铅、锌、硫，该区属长江中下游铁铜成矿带的重要组成部分。

表三-1 宁镇山脉岩浆活动地质年代表*

地 质 时 代		岩浆活动期	同位素年龄 (百万年)	代 表 性 岩 浆 岩
新 生 代	第 三 纪	喜马拉雅期	3-70	橄榄玄武岩、辉绿岩
中 生 代	白 垩 纪	燕山晚期	70-135	(石英)闪长玢岩、花岗闪长岩、花岗岩、石英安山岩、石英粗安岩、碱性流纹岩
	侏 罗 纪	燕山早期	135-195	辉长岩、闪长岩、辉石安山岩、粗安岩
古 生 代	二 叠 纪	海 西 期	230-285	流纹质沉凝灰岩
早一中元古代	前震旦纪		1771	变质中—基性火山岩

* 参照1976年中国地质科学院编制的1比400万中华人民共和国地质图的划分方案。

第一节 侵入岩

本区侵入岩类型齐全，从超基性至酸性的各类岩石均有。基岩面积约350平方公里，其中以中酸性岩分布最广，约占侵入岩总面积的80%，中性岩占12%，酸性岩占5%，基性岩(包括少量的超基性岩)占3%。各岩类断续分布于南京至蚌埠之间(图III-1)。

一、侵入岩时代与期次

1. 侵入岩期次划分的地质依据

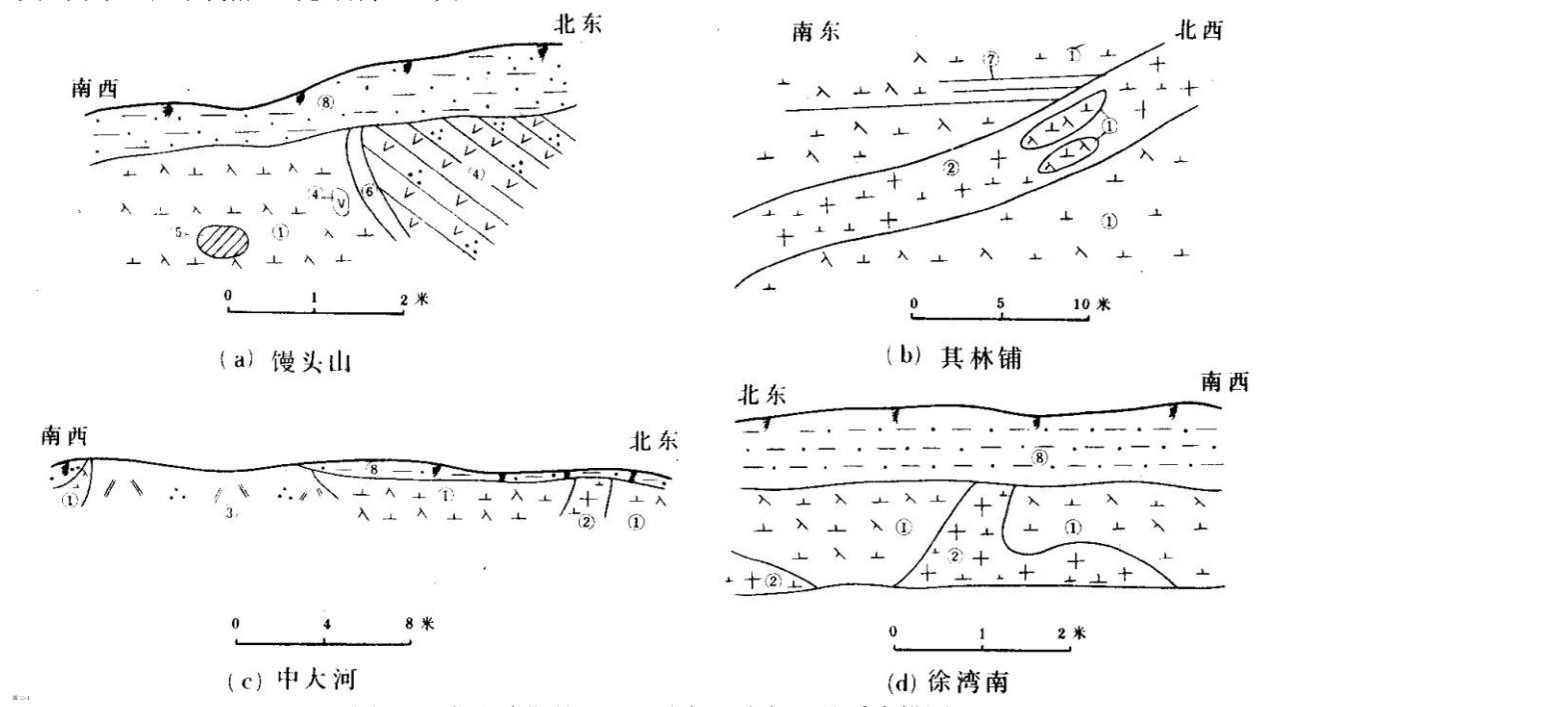
设置格式[miao Gu]: 上标

设置格式[miao Gu]: 上标

本区侵入岩与围岩或侵入体之间的关系见及不多，现仅就零星资料陈述如下：

蒋王庙辉长一闪长岩侵入于下一中侏罗统象山群，岩体内有象山群砂岩捕虏体，在大红山见辉长岩被燕山晚期的闪长玢岩侵入*，其中尚见年龄值为114百万年的云英岩脉。因此，该岩体的侵入时期应为晚侏罗世，与该岩体的橄榄辉绿岩K-Ar同位素年龄值(145百万年)相符。

本区闪长玢岩—石英闪长玢岩虽分布零星，但多处见到该类岩体与其它地质体之间的接触关系：(1)在大红山见闪长玢岩侵入于辉长岩中；(2)在其林铺见其被年龄值为112百万年的花岗闪长斑岩脉侵入，后者有前者的捕虏体(图III-2b)；(3)在馒头山见其侵入于下白垩统杨冲组和上党组下段，并见其与上党组下段的(石英)安山岩呈过渡关系(图III-2a)，又在中大河等地见其被石英二长斑岩、花岗闪长斑岩枝侵入(图III-2c)；(4)在徐湾南的人工水渠中见被年龄值为100百万年左右的花岗闪长岩侵入(图III-2d)；(5)粮山的闪长玢岩被二长花岗岩侵入**。据此，可以确定(石英)闪长玢岩的时限介于145—112百万年之间，相当于或略迟于早白垩世上党旋回第一亚旋回火山喷发时间，应为燕山晚期第一次。



图三-2 燕山晚期第一、二次侵入岩侵入关系素描图

①闪长玢岩—(石英)闪长玢岩；②花岗闪长斑岩；③石英二长斑岩；④上党
组石英安山岩；⑤杨冲组泥质岩；⑥冷凝边；⑦节理；⑧第四系残积层

花岗闪长岩及其相变的石英闪长岩、二长花岗岩侵入于(石英)闪长玢岩的接触关系在上面业已阐述，可作为其侵入时间下限的依据。此外，在下蜀岩体中多次见其被细粒钾长花岗岩小岩枝侵入(图III-3)，可以作为时间上限的依据，其同位素年龄值在123—82百万年，属燕山晚期第二次。

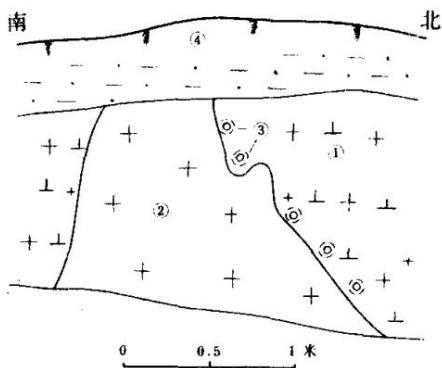
上述(碱长)花岗岩类，则为燕山晚期第三次侵入活动的产物。圈山地区侵入于火山岩中的次流纹岩可能是同次侵入活动的超浅成相侵入岩。

在花岗岩类侵入之后，还有细晶岩、煌斑岩等脉岩侵入，是燕山期侵入活动的尾声。

2. 同位素地质年龄的简析

本区岩浆岩同位素地质年龄样品共有43件，分析方法以K-Ar法居多，测定对象主要为

*华东地质科学研究所，1972年资料
**江苏省地矿局第三地质大队，1984年资料



图三-3 斑状花岗闪长岩被细粒花岗岩
侵入(六里甸南1公里) ①斑状花岗闪长岩;②
细粒花岗;③硅化;④第四系坡积层

龄值却相差很大,后者比前者约少10百万年。同一岩体不同深度的同位素年龄值,有时也有明显的差异,如白鹅山岩体地表样为115百万年,孔深213米处的样品K-Ar法年龄值为102百万年。

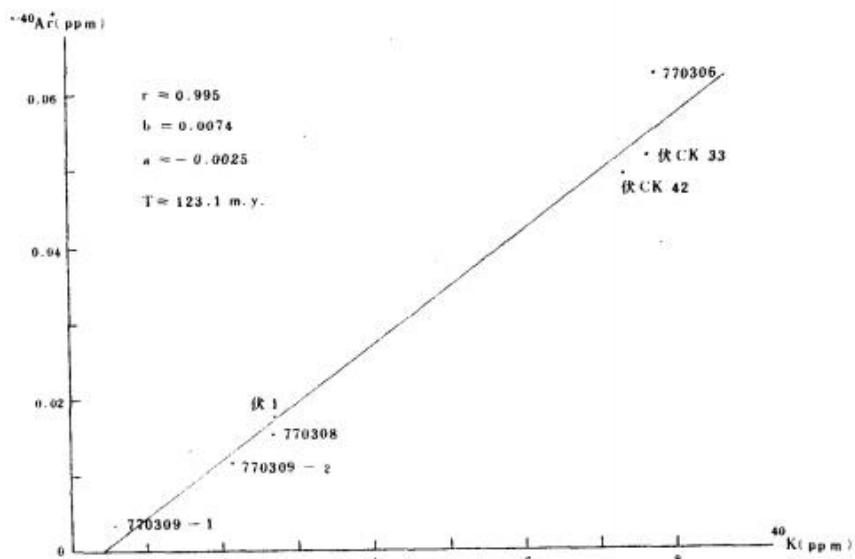
黑云母和全岩(表III-2、3)。为方便对比,本志根据近年来采用的衰变常数(160),对1976年8月以前K-Ar法测定的年龄数据进行了换算校正。

在利用K-Ar法年龄时,我们考虑了下列因素:

①K-Ar法年龄值只能反映最后一次热事件的时间,往往代表着岩石固结的年龄,故本区同位素年龄值普遍比用地质法所确定的时代偏新。对于同一岩体中各样品测试数据的差异,可采用K-Ar等时线法加以纠正,如安基山岩体单样的年龄值为92—123百万年,而等时线值为123百万年(图III-4),与单样最高值一致;

②K-Ar时钟启动的早晚与岩体侵位深浅有关,侵晶慢,K-Ar时钟启动晚。如安基山岩体和徐湾岩体,均属燕山晚期第二次侵入活动产物,但二者K-Ar年

| 删除[miao Gu]: 澎



图三-4 安基山岩体K-Ar等时线

因此本志采用K-Ar法年龄值的最大值,做为确定侵入活动时间的标准。

3. 侵入岩期次与火山岩层序的关系

岩石学、岩石化学和地球化学等资料表明,本区侵入岩、次火山岩及火山岩(除解放桥隐伏辉长岩体外)具有同源性,三者是同源同期不同相的产物。因此,可以用类比的方法,将各类火山岩的层次与侵入岩的先后期次进行对比。

晚侏罗世龙王山旋回和大王山旋回主要岩类为玄武—安山岩,与之相对应的侵入岩有蒋王庙辉长一闪长岩,均属燕山早期岩浆活动的产物。

早白垩世早期上党旋回第一亚旋回为安山岩和石英安山岩,与之对应的侵入岩有大红山、

表三-2 侵入岩同位素地质年龄

岩体	原始号 (室内号)	岩石名称	产地	测定对象	测定方法	年龄值 (百万年)	送样单位	测定单位 (测定时间)
蒋王庙	D 3371TW	辉长岩	蒋王庙	全 岩	K-Ar	114.7	江苏省调大队	南京地矿所
	TW31	橄榄辉绿岩	蒋王庙	全 岩	K-Ar	145.0	安徽区调队	南京地矿所 (1976年)
其林门	灵02-213	石英闪长斑岩	其林门合南村	黑云母	K-Ar	102.0	江苏省调大队	南京地矿所 (1980年)
	TW28	石英二长斑岩	白水桥	黑云母	K-Ar	115.0	安徽区调队	南京地矿所
安基山	(770309-1)	石英闪长玢岩	安基山	角闪石	K-Ar	106.0	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	(770308)	石英闪长玢岩	安基山	全 岩	K-Ar	95.3	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	(770309-2)	石英闪长玢岩	安基山	全 岩	K-Ar	92.0	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	(770306)	花岗闪长斑岩	安基山	黑云母	K-Ar	123.1	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	伏1	石英闪长岩	伏牛山	全 岩	K-Ar	112.0	桂林所	桂林冶金 地质研究所
	伏CK 33	石英闪长岩	伏牛山	黑云母	K-Ar	117.0	南京地矿所铜矿组	南京地矿所
	伏 CK 42	花岗闪长斑岩	伏牛山	黑云母	K-Ar	116.0	南京地矿所铜矿组	南京地矿所 (1972年1月)
石马	D2257-1DL	石英闪长岩	巢凤山	黑云母	K-Ar	94.0	江苏省调大队	南京地矿所
	B 59③ (800517)	细粒角闪闪长岩	石头岗	全 岩	K-Ar	106.3	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	B-17 (800519)	石英闪长斑岩	燕子窝	全 岩	K-Ar	84.9	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	B-5② (800518)	斑状花岗闪长岩	石头岗	全 岩	K-Ar	95.5	江苏地矿局实验室	南京地矿所 (1972年9月)
	(800515)	花岗闪长斑岩	巢凤山	黑云母	K-Ar	109.6	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	(800516)	细粒辉石闪长岩	韦 岗	黑云母	K-Ar	215.5	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	V ₁ -24 (09-024)	细粒闪长玢岩脉	韦 岗	全 岩	K-Ar	86.0	南京地矿所铁铜组	南京地矿所 (1972年9月)
	T 16 (09-023)	石英闪长岩	董家庄	黑云母	K-Ar	82.8	南京地矿所铁铜组	南京地矿所 (1972年6月)
	S 5 09-025)	斑状石英闪长岩	徐 湾	黑云母	K-Ar	98.95	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	u-1	斑状花岗闪长岩	韦 岗	锆 石	U-Pb	90.0	江苏地矿局实验室	南京地矿所
高资	u-2	(石英)太长玢岩	韦 岗	锆 石	U-Pb	84.0	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	u-3	(石英)闪长玢岩	韦 岗	锆 石	U-Pb	90.0	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	(09-021)	石英闪长岩	铜山矿1号井	黑云母	K-Ar	117.0	南京地矿所铁铜组	南京地矿所 (1972年1月)
	(09-029)	黑云母石英闪长岩	平巷东山坡	黑云母	K-Ar	112.0	南京地矿所铁铜组	南京地矿所 (1972年3月)
谏壁	(800513)	花岗闪长斑岩	四摆渡	黑云母	K-Ar	86.2	江苏地矿局实验室	南京地矿所
	(09-027)	石英闪长岩	象山西CK9孔	黑云母	K-Ar	102.0	南京地矿局铁铜组	南京地矿所 (1972年1月)
谏壁		长花岗岩	谏 壁	全 岩		102.1	江苏地质三队	宜昌地矿所
解放桥	ZK 02-3	辉长岩	解放桥	全 岩	K-Ar	142.6	江苏省调大队	南京地矿所

表三-3 火山岩同位素地质年龄

旋回	样品号	岩石名称	产地	测定对象	测定方法	年龄值 (百万年)	送样单位“	测定单位
圈山	D217	玄武岩	行香南龙山	全岩	K-Ar	46.0	江苏地研所	南京地矿所
		碱性流纹岩	周山	黑云母	K-Ar	96.57	江苏省调大队	南京地矿所
		珍珠构造次流纹岩	圈山	黑云母	K-Ar	82.40	江苏省调大队	南京地矿所
		珍珠构造次流纹岩	东贪	全岩	K-Ar	64.30	江苏省调大队	南京地矿所
上党		玄武岩	东贪	全岩	K-Ar	90.60	江苏地质三队	南京地矿所
	D211-2	英安流纹岩	东贪	全岩	K-Ar	98.5	江苏地研所	南京地矿所
	D 27	英安流纹岩	上党土山	全岩	K-Ar	77.4	江苏地研所	南京地矿所
		石英粗安斑岩	燕子窝	全岩	K-Ar	84.9	江苏地研所	南京地矿所
	D3030-1	石英粗安岩	东昌街	黑云母	K-Ar	114.0	江苏省调大队	南京地矿所
	D219	流纹岩	大港白泥矿	全岩	K-Ar	119.0	江苏地研所	南京地矿所
		次石英安山岩	汤山	黑云母	K-Ar	84.4	江苏省调大队	南京地矿所
姑山	NWJI-M7	黑云母角闪石英安山岩	梅山	全岩	K-Ar	112.3	江苏地研所	南京地矿所
	JM3	黑云母角闪石英安山岩	梅山	全岩	K-Ar	117.3	江苏地研所	南京地矿所
大王山	JM2	黑云母辉石安山岩	梅山	黑云母	K-Ar	124.6	江苏地研所	南京地矿所

杨坊山、其林铺、中大河、条状山、粮山等闪长玢岩、石英闪长玢岩，属燕山晚期第一次；上党旋回第二、三、四亚旋回为石英粗安岩、石英粗面岩和英安流纹岩，与之对应的侵入岩有白鹅山、安基山、下蜀、徐湾、丹徒镇等花岗闪长岩及石英闪长岩和二长花岗岩等，属燕山晚期第二次。

早白垩世晚期圈山旋回的主要岩类为碱性流纹岩和粗面岩，与之相应的侵入岩有牛头山、雷巷、东林场等碱性花岗斑岩，钾长花岗岩等，属于燕山晚期第三次。

综上所述，本志将区内侵入岩的时代分属燕山早、晚两期：燕山早期为辉长一闪长岩，为145百万年；燕山晚期有三次侵入活动，第一次为(石英)闪长玢岩和闪长玢岩，第二次为花岗闪长(斑)岩及其分异相的石英闪长斑岩和二长花岗岩等，为123百万年，第三次为花岗岩、碱长花岗岩，为96百万年。在每一次大规模岩浆活动以后，都有相应的派生岩脉侵入，共同构成宁镇山脉侵入杂岩体(表III-4)。

二、杂岩体划分及其地质特征

区内侵入岩彼此间既有穿插侵入关系，又具有矿物成分，化学成分及地球化学上的某些共性和演化关系，往往构成了在一定空间范围内由多次侵入和多种岩石组合的复合岩体，本志称之为杂岩体。本区自西向东有板仓、其林门、安基山、高资、新桥、石马、谏壁等七个杂岩体和一个隐伏的解放桥岩体。

(一) 板仓杂岩体

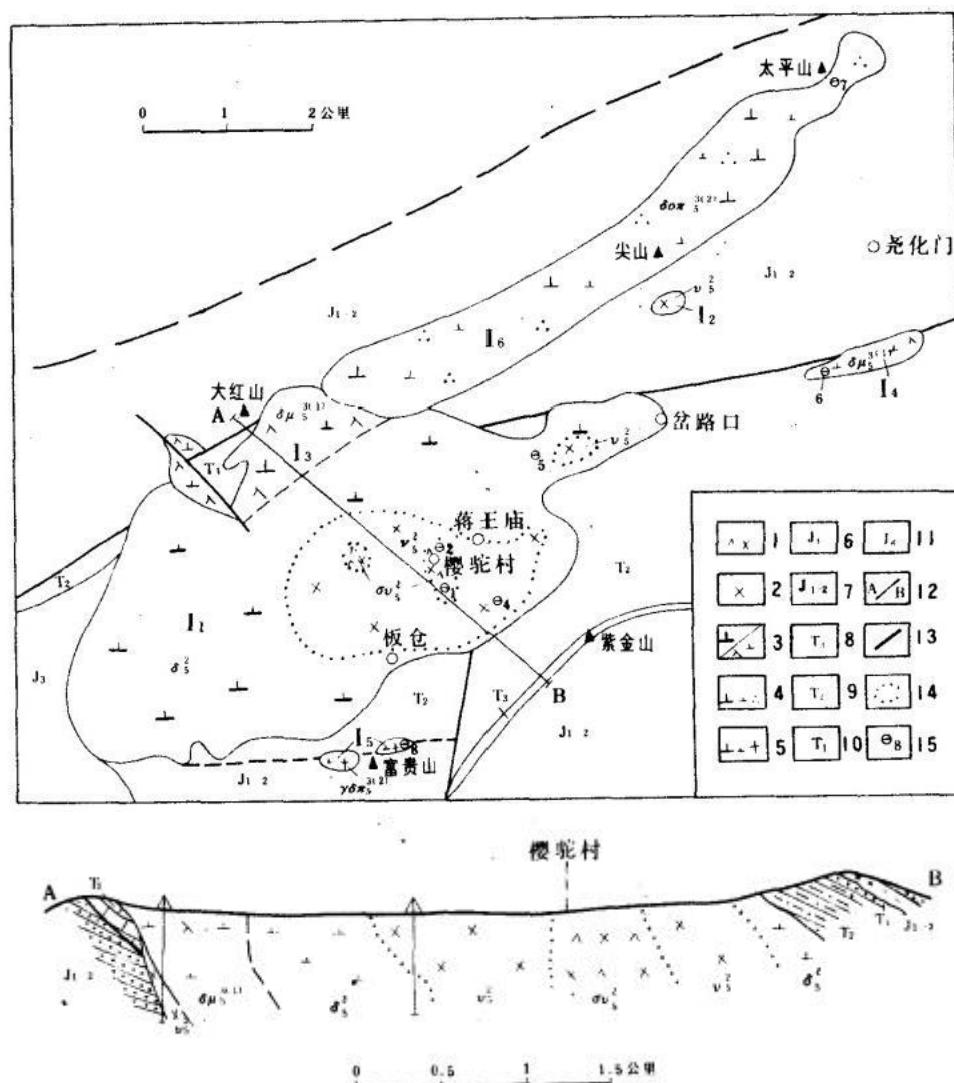
板仓杂岩体位于南京市东北郊，东自尧化门，西至南京市大庆路，南自紫金山北麓，北

表三-4 宁镇山脉侵入岩期次和杂岩体划分

期	次	板仓杂岩体		其林门杂岩体		安基山杂岩体		高资杂岩体		新桥杂岩体		石马杂岩体		谏壁杂岩体		解放桥岩体	
		岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型	岩体名称 编 号	岩石类型
燕山晚	第三 次			上后村 L4 牛头山 1	碱长花 岗班岩			雷 峄 M2	细 粒 花岗岩			东林场 Ms	碱 长 花岗岩	钟家村 W	细 粒 花岗岩		
		尖 山 16	石英闪长 班岩、花岗 闪长斑岩	白鹅山 II2	花岗闪 长斑岩、	安基山 III	石英闪长 斑岩、花 岗闪长斑 岩、斑状 花岗闪长 岩	下 蜀 M1	石英闪长 斑岩、花 岗闪长斑 (班)岩。 二长花岗 岩	范 巷 V2	花岗闪 长斑岩	徐 湾 M2	石英闪长 斑岩、花 岗闪长岩、 石英二长 岩、花岗 闪长岩	南、马 WL	花岗闪 长斑岩		
		富貴山 1s	花岗闪长 斑岩、石英 闪长斑岩		石英闪长 斑岩、石英 闪长班岩								大 港 W13	石英闪 长班岩			
	第一 次	杨坊山 14	(石英) 闪长玢岩	其林铺 111	(石英) 闪长玢 岩					(石英) 闪长玢 岩	中大河 V1	条状山 V1	闪长玢岩、 (石英)闪 长玢岩	粮 山 W1	闪长玢岩、 (石英)闪 长玢岩		
		大红山 13	(石英)闪 长玢岩、 闪长玢岩														
燕山早	兴卫村 12	辉长岩—辉 石闪长岩												解放桥 M	角闪辉长 辉绿岩、 做模角闪 辉长岩		
	蒋王庙 I	辉长岩、闪 长岩、极模 辉长岩															

至大、小红山和太平山。岩体受东西向和北东向两组断裂控制。

该杂岩体由六个岩体组成(表III-4、图III-5),其中以燕山早期的蒋王庙中一基性岩体为主体,在其外围断续分布着燕山晚期的中酸性小岩体,南侧有富贵山岩体,北侧有大红山、尖山、兴卫村岩体,东侧有杨坊山岩体。



图三-5 板仓杂岩体基岩地质略图

1. 橄榄辉长岩 (σ vs); 2. 辉长岩 (vs); 3. 闪长岩 (σ^2), 闪长玢岩 ($\sigma \mu 31$); 4. 石英闪长斑岩 ($80\pi 3(2)$); 5. 花岗闪长斑岩 ($y0\pi 3(2)$); 6. 上侏罗统; 7. 下-中侏罗统; 8. 上三叠统; 9. 中三叠统; 10. 下三叠统; 11. 岩体编号; 12. 地质剖面线; 13. 断层; 14. 岩相界线; 15. 硅酸盐样品采集地点及编号(同表III-19)

1. 蒋王庙岩体(I₁):平面形态呈椭圆形,基岩面积约17平方公里,但露头零星,仅见于樱驼村、南京林学院、王家湾、航空公墓等地。该岩体的岩石类型以辉长岩和闪长岩为主,由于结晶分异良好,同化混染作用强烈,局部岩石有所变异,出现少量过渡类型的岩石,如橄榄辉长岩、角闪辉长岩、辉石岩、辉石闪长岩和碱性辉长岩等。该岩体侵位于周冲村组、黄马青组、象山群、龙王山组,总体走向北东东,南、北接触面均向南倾,据航磁延拓资

料*,岩体倾角75°(图III-5)。该岩体具有以下特点

①分异性:水平方向的分异作用表现为多中心的结晶分异。结晶分异中心有三个(图III-5):樱驼村(角闪橄榄辉长岩)、南京林学院(橄榄辉长岩)、航空公墓(辉长岩)。这三个分异中心与周新民按长石牌号圈定的三个峰值区基本一致,周氏在三个峰值区测得的最高斜长石牌号分别为An80、An76和An65⁽¹⁶¹⁾。由分异中心向外逐渐过渡为辉长岩相带,斜长石牌号为58-65;再向外侧为(辉石)闪长岩相带,斜长石牌号为30-50。由中心至边缘岩体酸度有增高的趋势,故可称之为“酸性边”^(159、161)。

垂深方向的分异作用表现为辉长岩与闪长岩成“层”交替出现,间有少量的辉石橄榄岩**,具有韵律性火成堆积构造的特征。

②混染作用:岩体与围岩之间的同化混染作用普遍,岩体中常有已角岩化的沉积岩捕虏体,其中有斜长石和辉石的变斑晶,角岩由斜长石(80%)、辉石(20%)组成,与辉长岩成分相近;在岩体南缘有混染辉长岩,构成了一个独特的相带·具斑杂构造,内有沉积岩碎屑,榍石和磷灰石普遍可见,榍石含量最高达10%,局部有方柱石、红柱石和电气石等变质、气成矿物。

③碱交代:岩体南部受后期碱交代作用较强烈。先是钾质交代并包裹斜长石,形成包裹变晶结构,局部钾长石含量高达35%,与辉石(55%)、斜长石(10%)共生,形成交代成因的等色岩(图版X-2)。继而发生钠交代,钠质交代斜长石,使其牌号降低,由An54变成An41;钠质交代辉石和角闪石,使其边部颜色加深,呈浅绿色,多色性愈加明显。在碱交代强烈的地段形成交代成因的碱性辉长岩⁽¹⁶²⁾。

④反应关系:局部可见暗色矿物具有反应边结构,通常的反应关系如下:

a.贵橄榄石→普通辉石→棕色普通角闪石→黑云母。

b.(钛)磁铁矿→榍石(图版XII-3)。

c.磁铁矿→黑云母。

据周新民资料尚有贵橄榄石→紫苏辉石的反应边⁽¹⁶¹⁾,偶见贵橄榄石→黑云母的越级反应关系。

⑤该岩体的普通角闪石有棕色和绿色两种,前者见于辉长岩,后者见于闪长岩,凡是以反应边形式出现者,均为棕色角闪石。该岩体中的黑云母均呈棕褐色,可能是含钛高所致(163)。

2.兴卫村岩体(I₂):位于尧化门镇西偏南2公里处,基岩面积约0.02平方公里。主要岩石类型为辉长岩一辉石闪长岩,呈岩枝状侵入于象山群中。可能是蒋王庙岩体的一个分枝,同属燕山早期的产物。

3.大红山岩体(I₃):位于南京市中央门外,基岩面积约1.1平方公里。呈扁豆体状,侵位于上青龙组,象山群和燕山早期的闪长岩体接触带中,岩石类型为(石英)闪长玢岩和闪长玢岩。岩体走向北东,倾向南东,倾角35°左右。该岩体蚀变强烈,主要有矽卡岩化,绿帘石化,绿泥石化,碳酸岩化。局部混染强烈,薄片中可见砂状石英集合体,与周冲村组灰岩的接触带有矽卡岩型铁矿。

*江苏地矿局物探大队,1981年资料。

**据江苏冶金地质勘探公司810地质队,蒋王庙普查区CKi孔资料。

设置格式[miao Gu]: 上标

设置格式[miao Gu]: 上标

删除[miao Gu]: ³

删除[miao Gu]: 楹

删除[miao Gu]: 榔

设置格式[miao Gu]: 上标

删除[miao Gu]: 榔

删除[miao Gu]: I

设置格式[miao Gu]: 上标

4.杨坊山岩体(I₄):位于岔路口东侧,杨坊山之南麓。基岩面积约0.4平方公里。沿长林村断裂分布,围岩为周冲村组、黄马青组和象山群。走向北东东,倾向南东。岩石类型为(石英)闪长玢岩,以钠质高为特点。

5.富贵山岩体(I₅):位于南京市太平门附近,基岩面积不足0.4平方公里。呈不规则的小岩枝侵入于象山群中。岩石类型为花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩。

6.尖山岩体(I₆):仅在尖山、太平山有零星露头,根据物探资料和钻孔揭露,该岩体沿大红山北东侧一尖山-太平山一线基本上是连续分布的,长约7公里,宽约0.8公里,走向北东,倾向北西。岩石类型以石英闪长斑岩为主(图版XII-4),局部为具有文象结构的花岗闪长斑岩(图版XII-5)。岩体硅化强烈,常有密集平行的石英细脉。

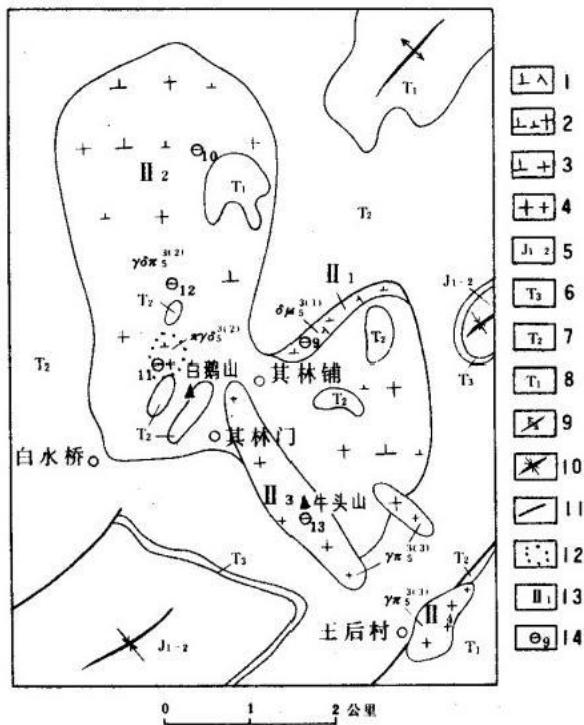
~~删除[miao Gu]: XI~~

~~删除[miao Gu]: XI~~

(二) 其林门杂岩体

其林门杂岩体位于南京市东郊约14公里处。北起仙鹤门,南至青龙山北麓,近似长方形,南北长约6公里,东西宽约2.5公里。基岩面积14平方公里,总体走向北北西,倾向北东东,并向南东倾伏。岩体侵入于中三叠统周冲村组和黄马青组中。

该杂岩体由四个岩体组成,是三次侵入作用的产物(表III-4、图III-6)。



图三-6 其林门杂岩体基岩地质略图

- 1.(石英)闪长玢岩(oμs(1);2.花岗闪长斑岩(γon3(2);3.斑状花岗闪长岩(πros(2);4.花岗斑岩(γπ3(3));5.下—中侏罗统; 6.上三叠统;
- 7.中三叠统; 8.下三叠统; 9.背斜; 10.向斜;
- 11.断层; 12.岩相界线; 13.岩体编号; 14.硅酸盐样品采集地点及编号(同表III-19)

1.其林铺岩体(II₁):呈长条形,长1.6公里,宽0.2公里,走向北东东,北侧侵入于中三叠统周冲村组、黄马青组中,南侧被白鹅山花岗闪长斑岩侵入。岩石类型主要为(石英)闪长玢岩,局部具有流纹构造。

2.白鹅山岩体(II₂):是该杂岩体的主体,其面积约占90%,岩石类型主要为花岗闪长斑岩(图版XII-6)和石英闪长斑岩,局部有球粒结构的石英二长斑岩(图版XIII-1),沿白鹅山脊有似斑状花岗闪长岩。同位素地质年龄为102—115百万年。

3.牛头山岩体(II₃):呈北北西向侵入于白鹅山岩体与黄马青组之间,主要岩石类型为碱长花岗斑岩(图版XIII-2),以富硅碱和β-石英斑晶发育为特征。

4.王后村岩体(II₄):位于其林门东南约3.5公里处。岩体沿纵向断裂分布,南东侧围岩上青龙组和周冲村组,北西侧围岩为黄马青组,岩石类型为碱长花岗斑岩。

~~删除[miao Gu]: X~~

~~删除[miao Gu]: I~~

其林门杂岩体具有如下特点:

(1)钠交代强烈,尤见于表部的岩石,根据钻孔资料深部岩石钠化渐弱,趋于正常。钠质交代的结果,使中长石转变为钠长石,长石牌号由An36变为An4;黑云母向白云母和绿泥石转化。岩石化学成分的变化是带入大量的

Na和Si;带出组分主要是K、Fe,其次有Ca、Mg、P等(表III-5)。Na₂O含量平均为7.75%,单个样品的最高含量达10%,Na₂O/K₂O比值为7.9,钙碱指数为52.5。因此该岩体以富钠贫钾为特征,属碱钙性岩系。

- ②亲铁元素和亲铜元素含量普遍偏低,一般只有同类岩石维氏值⁽¹⁶⁴⁾的175—1/2。
- ③岩体氧化率(Fe₂O₃/FeO+Fe₂O₃)高,为0.6—0.75;副矿物中磁铁矿含量低,而赤铁矿含量高,二者的比值为0.8,说明该岩体应属超浅成相。

设置格式[miao Gu]: 上标

删除[miao Gu]: .

表三-5 其林门杂岩体钠化岩石标准岩胞中阳离子的变化

阳 离 子 岩石类型	Si	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg	Ca	Na	K	P	H
花岗闪长斑岩(1)	580	2	163	14	12	10	24	79	40		46
钠化花岗闪长斑岩(2)	591	2	168	7	3	7	11	132	10		45
(2)-(1)	+11	0	+5	-7	-9	-3	-13	+53	-30	0	-1

+为带入; -为带出

④岩体内有大量的中三叠统周冲村组、黄马青组的岩石捕虏体和顶垂体。接触带常见有角砾岩,角砾呈棱角状,砾径一般5—20厘米,角砾上有时可见擦痕,角砾之间有细碎屑充填,并被钙质胶结。角砾(岩)带的宽度不一,多为5米左右,形态不规则。其成因可能是由于接触带两侧岩石物理性质的差异,在热胀冷缩和后期构造运动的作用下,形成的破碎角砾,同时外接触带的灰岩因受热液及地下水的溶蚀而形成溶洞,角砾充填其中,形成了溶洞垮塌型堆积。

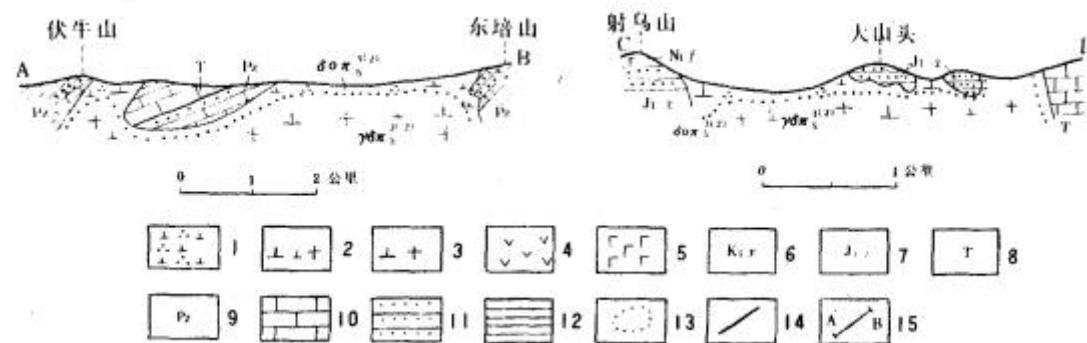
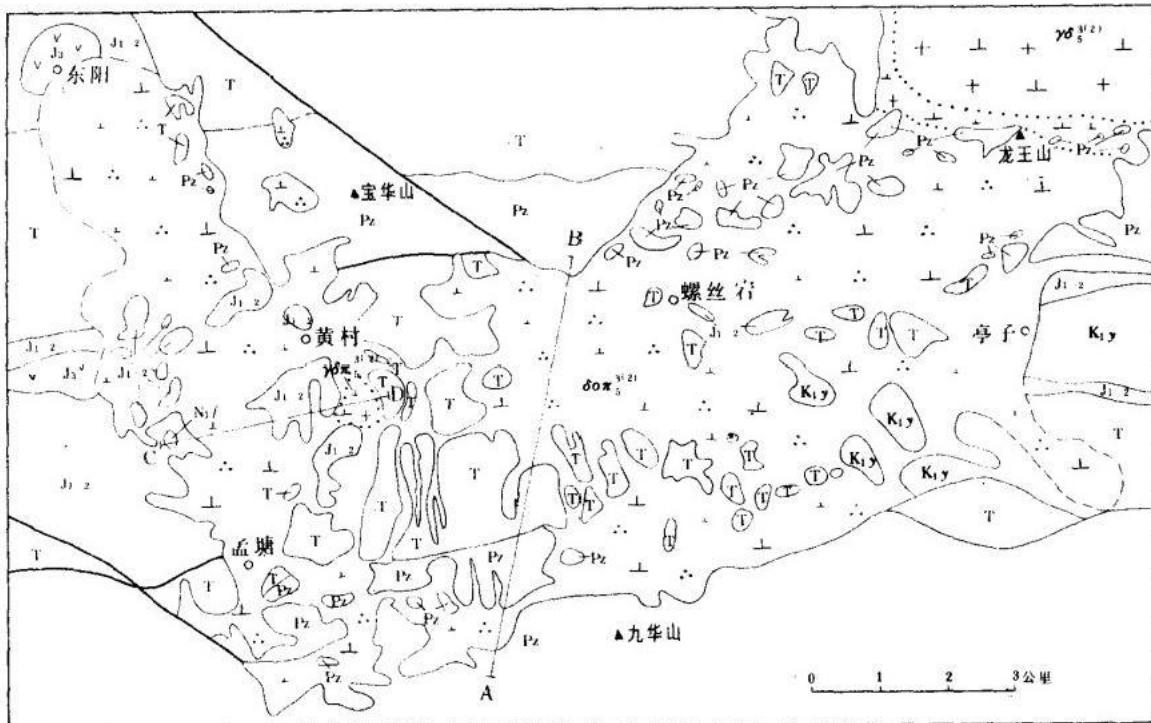
(三) 安基山杂岩体

安基山杂岩体位于宁镇山脉中段,东起亭子,西止鸡笼山—射鸟山,南界在伏牛山—九华山一线,向北分成两支,一支向北东延展至磁山头—龙王山与高资杂岩体相接,另一支向北西延展至东阳镇(图III-7)。岩体受东西向的桦墅—亭子复式向斜及北东向的下蜀—汤山断裂和北北西向的东阳—孟塘断裂所控制。侵入于志留系—白垩系的不同层位,岩体内有许多沉积岩捕虏体和顶垂体,表明该岩体侵位高,剥蚀浅。岩石类型主要为石英闪长斑岩(图版XIII-3),其次为花岗闪长斑岩(图版XIII-4)和闪长玢岩。石英闪长斑岩与花岗闪长斑岩呈相变关系,前者主要分布于浅部以及与围岩接触的部位,后者主要见于钻孔中,地表只有零星分布,岩体深部主要是似斑状花岗闪长岩(图版XIII-5)。由浅至深造岩矿物粒度增大,由斑状结构变为似斑状结构,基质由微嵌晶、霏细结构变为不等粒结构或花岗结构,反映了岩浆结晶分异过程中边缘和内部、浅部和深部岩性的变异。闪长玢岩是晚期的脉岩,脉的规模较大,可达十余米宽,数百米长,不但侵入于主岩体中,也侵入于沉积岩中。孟塘一带,有超浅成相(石英)闪长玢岩零星分布。另外,在安基山矿区,发现有爆破角砾岩(图版XIII-6)。

主岩体同位素年龄值为92—123百万年,等时线年龄值为123百万年,属燕山晚期第二次侵入活动的产物。

该杂岩体岩石化学成分均属正常类型,里特曼指数2.23—2.87,钙碱指数为57.5,属钙碱性岩系。微量元素以富含亲铜元素为特点,分布面积近百平方公里的石英闪长斑岩平均含铜量为48.34ppm,属含铜岩体*,目前已探明的铜及多金属矿床(点)十余处。

*陶食元, 1977年资料



图三-7 安基山杂岩体基岩地质略图

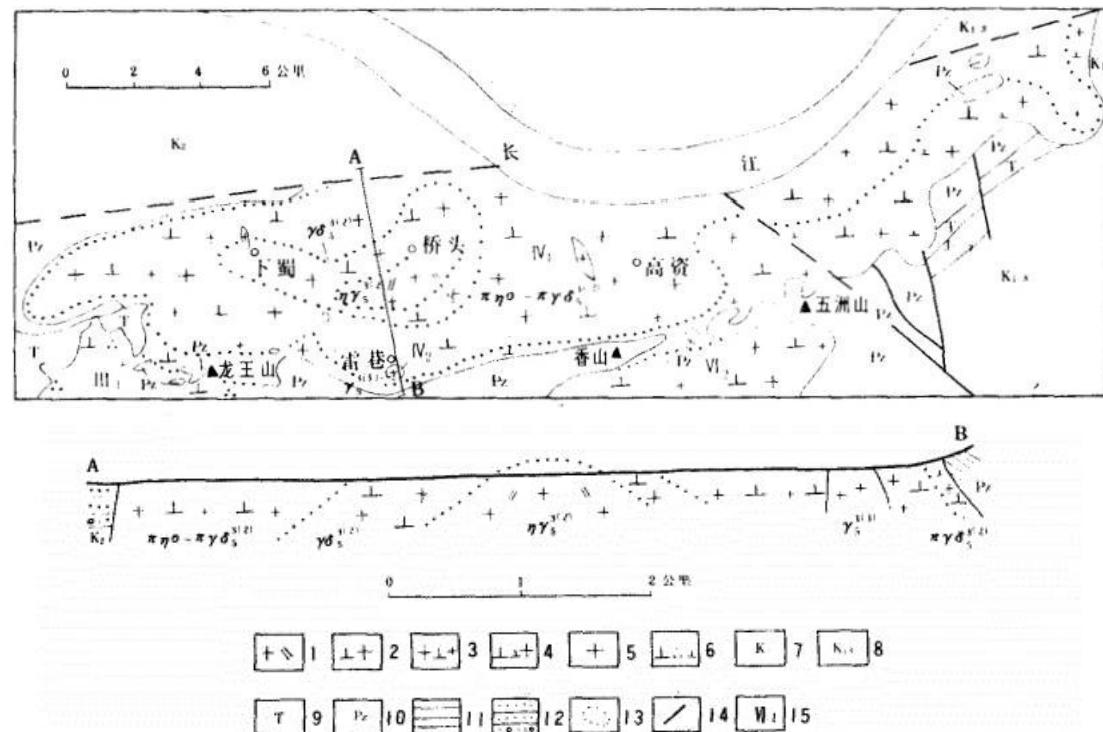
1. 石英闪长斑岩(8on³ 42); 2. 花岗闪长斑岩(yon¹ (2); 3. 斑状花岗闪长岩(nyos (2));
4. 中酸性安山岩(J₃); 5. 玄武岩(Ni1f); 6. 下白垩统杨冲组; 7. 下一中侏罗统; 8. 三叠系; 9. 古生界;
10. 灰岩; 11. 砂岩; 12. 页岩; 13. 岩相界线; 14. 断层; 15. 剖面线

(四) 高资杂岩体

高资杂岩体西起仓头，经下蜀、高资至镇江市西侧，呈东西向分布于宁镇山脉中段。西端沿龙潭—仓头复式背斜轴部侵入于志留系，东端侵入于下白垩统上党组。北以幕府山—焦山断裂为界与上白垩统赤山组接触，南缘在铜山—石砀山—龙王山—武岐山—香山—五洲山一线，侵入于志留系至三叠系不同层位，并与石马、安基山杂岩体相接。东西长32公里，南北最宽约6公里，基岩面积120余平方公里。仅在南接触带附近有少量沉积岩捕虏体。岩体南接触带倾向南，铜山地段倾角75°，磁山头—西砚山地段倾角50°—82°，三摆渡地段50°，总体趋势是西段陡，东段缓。

该杂岩体包括下蜀、雷巷两个岩体(表III-4)。

1.下蜀岩体(IV1): 为该杂岩体的主体，是一个规模较大的岩基，剥蚀深度大，相带发育，内部相为等粒状二长花岗岩和花岗闪长岩；过渡相为斑状花岗闪长岩(图版X IV~1)，边缘相为花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩(图III-8)。同位素地质年龄为106-117百万年，属燕山晚期第二次侵入活动的产物。



图三-8 高资杂岩体基岩地质略图

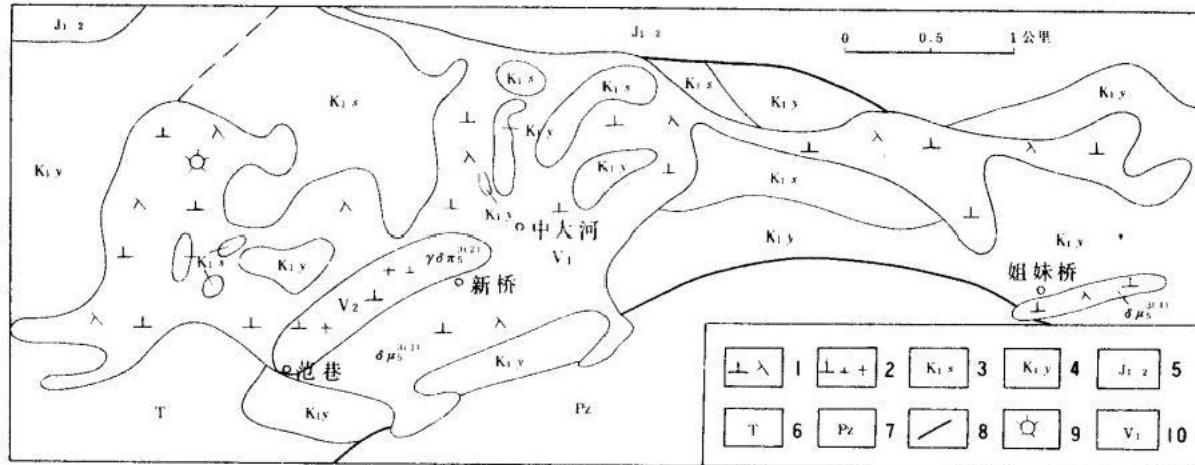
1. 二长花岗岩($\text{my}3(2)$) ;2. 花岗闪长岩(γo) ($2'$) ;3. 斑状花岗闪长岩($\pi yo3(2)$) ;4. 花岗闪长斑岩($\gamma on3(2775)$) ;5. 花岗岩($\gamma^3(3)$) ;6. 石英闪长斑岩($\text{oon}3(2)$) ;7. 上白垩统; 8. 下白垩统上党组; 9. 三叠系; 10. 古生界; 11. 页岩; 12. 砂岩、砂砾岩; 13. 岩相界线; 14. 断层; 15. 岩体编号

2.雷巷岩体(IV2): 位于桥头南约5公里。呈小岩枝状侵入于下蜀岩体的斑状花岗闪长岩中，平面形态呈椭圆状，主要岩石类型为细粒花岗岩，内有许多微小的长石、石英晶洞。此外，在六里甸、下蜀、高资、北俩窑等地也有该类岩脉侵入于主岩体中，均系燕山晚期第三次岩浆活动的产物。

该杂岩体的化学成分属正常类型，里特曼指数1.92-2.62，钙碱指数为57.3，属钙碱性岩系。与之有关的矿产：中段(下蜀-高资)以矽卡岩型的铁矿为主，西段和东段以中-低温热液型铜、钼、铅、锌矿为主。

(五) 新桥杂岩体

新桥杂岩体位于宁镇山脉中段，侵入于桦墅—亭子复式向斜轴部，呈东西向展布，西起馒头山，东至姐妹桥，长6.5公里，宽窄不一，形态不规则，总体上呈西宽、东窄的楔形体，内有大量围岩捕虏体和顶垂体。基岩面积约5.6平方公里(图 III-9)。

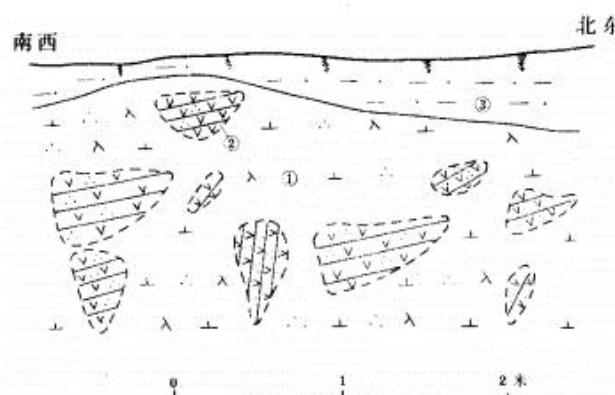


图三-9 新桥杂岩体基岩地质略图

1.闪长玢岩(om3); 2.花岗闪长斑岩(yon32); 3.下白垩统上党组火山岩; 4.下白垩统杨冲组; 5.下中侏罗统; 6.三叠系; 7.古生界; 8.断层; 9.火山口; 10.岩体编号

该杂岩体以燕山晚期第一次的(石英)闪长玢岩(图版X IV-2)为主体, 内有燕山晚期第二次的花岗闪长斑岩侵入, 前者称中大河岩体, 后者称范巷岩体。

中大河岩体(V₁): 呈东西向分布于馒头山-姐妹桥之间, 侵入于下白垩统杨冲组和上党组, 局部见(石英)闪长玢岩与上党组火山岩呈过渡关系, 接触面平行于流面, 且界面不清; 另外在句容林场见(石英)闪长玢岩中有火山岩的角砾, 其轮廓也不甚清楚(图 III-10)。上述事实说明, 该岩体是紧随上党组第一亚旋回石英安山岩喷发之后而侵入的, 时代相当于早白垩世, 属燕山晚期第一次。



图三-10 句容县林场(石英)闪长玢岩中的石英安山岩捕虏体

1. (石英)闪长玢岩; 2. 石英安山岩; 3. 残坡积土

范巷岩体(V₂): 长1.2公里, 宽0.3公里, 走向北东, 在新桥和中大河等地见其侵入于(石英)闪长玢岩中。在范巷至新桥一线, 两岩体的接触部位有较大的磁性梯度变化, 也反映了二者的差异。

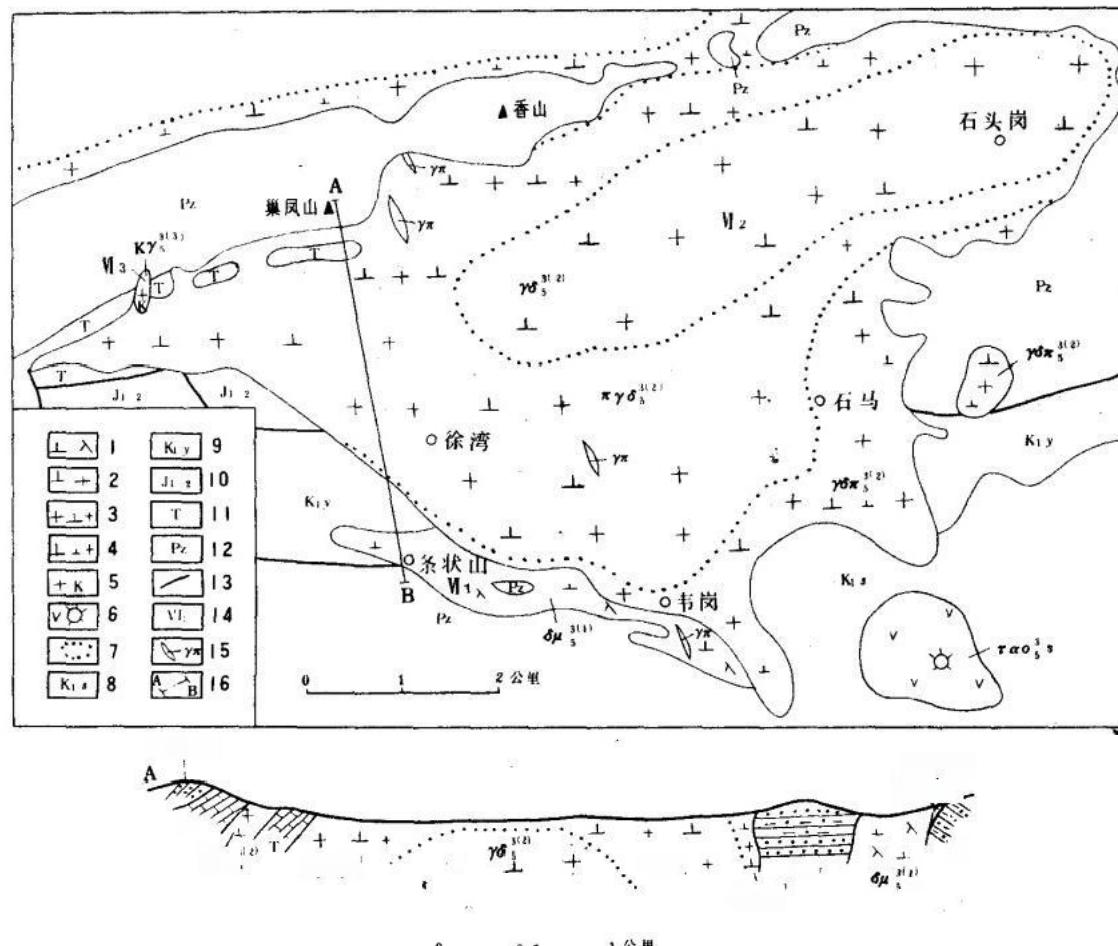
(六) 石马杂岩体

石马杂岩体位于宁镇山脉中段, 不规则地侵入于桦墅-亭子复式向斜和宝华山-巢凤

中大河岩体具有超浅成相的特征, 岩石结晶极为细小, 基质多为霏细结构和微嵌晶结构。岩体南侧具有良好的流动构造, 流面很平缓, 倾向南南东, 倾角10°左右, 表明是岩体顶部的流动构造。岩体西部的馒头山是火山机构的一部分, 火山碎屑岩及熔岩呈半环状围绕侵入岩成带状分布。岩体氧化率达0.67, 与次火山岩相的氧化率相当。根据被侵入的最新地层, 即上党组一段火山岩的厚度推算, 其侵入深度为610米。该岩体的斜长石斑晶普遍具有钠长石化, 岩石化学以钠质高为特点, Na_2O 含量达6.09%, $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}=3.16:1$ 。

山复式背斜中。与之接触的地层从志留系一下白垩统上党组。岩体呈北东东向延伸，长12公里，宽窄不一，中部最宽处达7公里。基岩面积34平方公里。

该岩体主要由三个岩体组成(表III-4，图III-11)。



图三-11 石马杂岩体基岩地质略图

1. (石英)闪长玢岩($o\mu^3(1)_3$);2. 花岗闪长岩($yo^3(2)_3$);3. 斑状花岗闪长岩($\pi yo^3(2)$);4. 花岗闪长斑岩($yo\pi s(2)$);5. 碱长花岗岩($Ky^3(3)$);6. 次火山岩(taoss) 及火山口; 7. 岩相界线;
8. 下白垩统上党组; 9. 下白垩统杨冲组; 10. 下一中侏罗统; 11. 三叠系; 12. 古生界; 13. 断层;
14. 岩体编号; 15. 花岗斑岩脉($y\pi$);16. 剖面线

1. 条状山岩体(V₁): 呈岩墙状分布于该杂岩体的南缘，西起条状山，经太阳山，至韦岗南侧，长5公里，宽约0.3公里。走向近东西，倾向北，倾角70°-80°。在上沟村采石场中，见其侵入于志留系高家边组与二叠系栖霞组之间的大断裂中。在条状山至韦岗地段，其南侧与高家边组侵入接触，北侧被徐湾岩体所侵入。太阳山附近，该岩体中有三叠系和二叠系岩层捕虏体，部分已形成矽卡岩。岩石类型主要为闪长玢岩和(石英)闪长玢岩，蚀变强烈。东段韦岗附近以钠化为主；中段太阳山附近以矽卡岩化为主；西段条状山一带有黄铁青盘岩化

2. 徐湾岩体(VI₂): 是石马杂岩体的主体，岩石类型多，相带发育，内部相为中-粗

粒花岗闪长岩(图版XIV-3)，过渡相为似斑状花岗闪长岩和斑状石英二长岩，斑状石英闪长岩；边缘相为花岗闪长斑岩(图版XIV-4)和石英闪长斑岩(图版XIV-5)。该岩体中普遍有辉石闪长玢岩和细粒角闪闪长岩包体。岩体与围岩接触带的产状如下：北接触带倾向北或北西北，倾角50°-60°；西南接触带倾向南西，倾角65°-70°，南接触带倾向北，倾角大于65°；东接触带参差不齐，产状不清。韦岗矿区钻孔中见该岩体内有上党组安山岩捕虏体，在徐湾村南1.5公里的水渠中见其侵入于(石英)闪长玢岩中(图III-2d)。因此，它的生成时间应晚于条状山岩体。其同位素地质年龄为92—109百万年，属燕山晚期第二次的产物。与之有关的矿产以铁为主，均为矽卡岩型磁铁矿，以富含硫化物为特点，矿石中含硫量达2.86-3.75%，属高硫铁矿。

3.东林场岩体(VI3)：位于石马杂岩体的西北角，呈小岩枝状侵入于主岩体和三叠系之中。岩石类型主要为细粒碱长花岗岩，文象结构和花斑结构很发育(图版XIV-6)；属燕山晚期第三次的产物。同类侵入岩在韦岗之南和坝子口等地亦有产出，但规模很小。该类岩石的特点是富含硅和钾， SiO_2 和 K_2O 含量分别为76.41%和6.21%，是全区酸度最高的侵入岩。

(七) 谅壁杂岩体

谅壁杂岩体位于宁镇山脉东段，分布于镇江-谅壁-大港一带，总体呈东西向展布，长28公里，宽窄不一，时有间断或呈岩枝衍生，基岩面积59.84平方公里，但出露甚差，绝大部分被第四系覆盖，仅在山体边缘的采石场中有所剥露。该杂岩体常呈网脉状侵入于震旦系-白垩系的不同层位中(图III-12)，岩体中常有沉积岩捕虏体和顶垂体，与围岩之间混染强烈，是该杂岩体的特点。

该杂岩体包括粮山、丹徒镇、大港、南吕、钟家村五个岩体(表III-4)。

1.粮山岩体(VII₁)：位于谅壁镇东侧，平面呈舌状侵入于震旦系中，走向东西，倾向南，倾角约70°。主要岩石类型为闪长玢岩(图版XV-3)，局部为(石英)闪长玢岩。据江苏省地矿局第三地质大队钻探资料，该岩体被丹徒镇岩体的二长花岗岩侵入，但二者K-Ar同位素地质年龄均为102.1百万年，说明当二长花岗岩侵入时，对该岩体影响很大，改变了它的热状态，使放射性成因的Ar扩散丢失，致使该岩体的K-Ar时钟又重新开始。

删除[miao Gu]: V

2.丹徒镇岩体(VII₂)：分布范围较大，西起镇江九华山，东至谅壁粮山，南界在四平山-零山-线，北面延入长江。基岩面积40余平方公里，内有许多沉积岩捕虏体和顶垂体。东段侵入于震旦系，西段侵入于三叠系，南缘与上古生界及下白垩统火山岩侵入接触。岩体总体走向东西，倾向南(图III-12)。可分两个相带，内部相为二长花岗岩(图版XV-4)，边缘相为花岗闪长斑岩(图版XV-5)。与之有关的矿产，东段以钨钼矿为主，西段以铜铅为主。

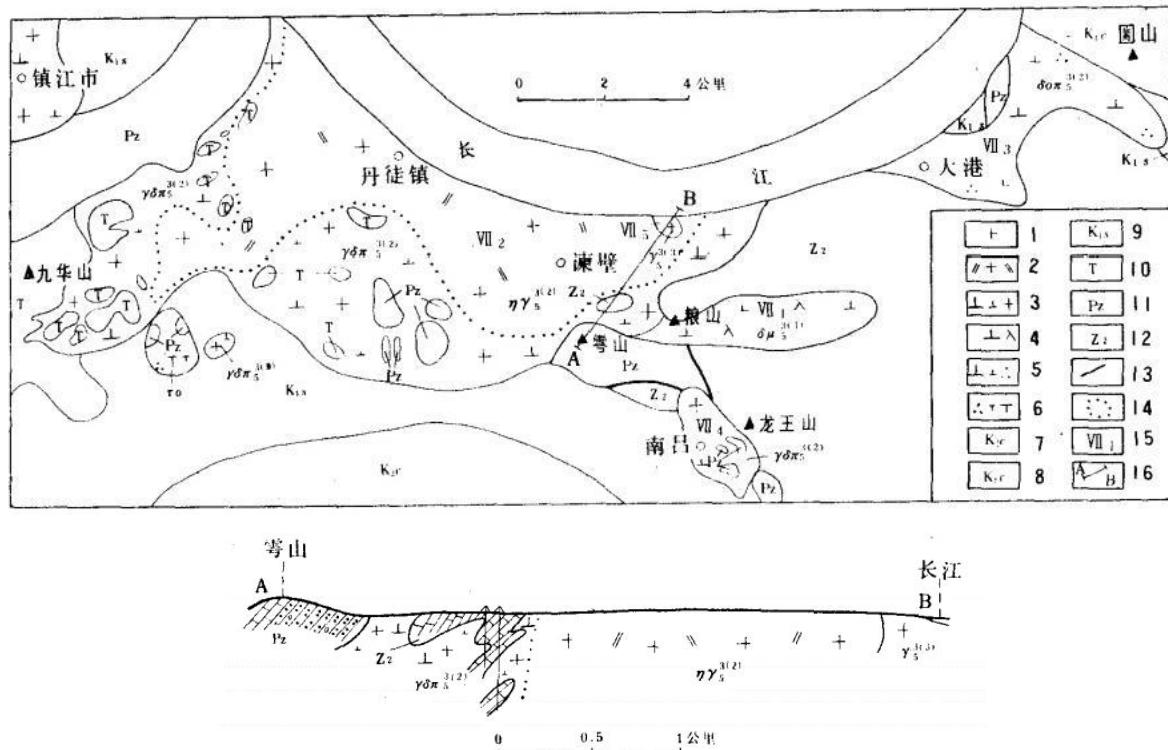
删除[miao Gu]: VI

3.大港岩体(VII₃)：位于大港镇与离山之间，北东侧侵入于下白垩统火山岩中，南侧侵入于上震旦统，其内有上古生界岩层及下白垩统火山岩的捕虏体。主要岩石类型为石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩。根据航磁资料，大港岩体与丹徒镇岩体在长江水域之下连成一体。光谱分析表明，该岩体富含Mo，平均含量达7PPm，是同类岩石克拉克值的6倍。

删除[miao Gu]: V

4.南吕岩体(VII₄)：位于谅壁南东6公里。平面呈扁豆状，走向北西，侵入于震旦系与下白垩统火山岩的不整合界面之间，基岩面积约2.2平方公里，内有震旦系岩层捕虏体。主要岩石类型为花岗闪长斑岩，以富含As、(70PPm)、Ag(0.2PPm)为特点，分别高于克

删除[miao Gu]: VI



图三-12 谏壁杂岩体基岩地质略图

1. 花岗岩 ($y^3(3)$); 2. 二长花岗岩 ($\pi ys3(2)$); 3. 花岗闪长斑岩 ($yon3(2)$); 4. 闪长玢岩 ($o\mu^3(2)$); 5. 石英闪长斑岩 ($\delta o\pi s^3(2)$); 6. 石英粗面斑岩 (ro); 7. 上白垩统赤山组; 8. 下白垩统周山组; 9. 下白垩统上党组; 10. 三叠系; 11. 古生界; 12. 上震旦统; 13. 断层; 14. 岩相界线; 15. 岩体编号; 16. 剖面线拉克值36倍和3倍。

5. 钟家村岩体(VII₅): 位于谏壁北东2公里。为细粒花岗岩小岩体, 侵入于丹徒镇二长花岗岩体之中。同类岩石在横山地区呈脉状出现, 均为燕山晚期第三次岩浆活动的产物。| 删 [miao Gu]: VI

谏壁杂岩体东部受构造作用影响, 岩石中常有微细碎裂带, 后期的黑云母沿碎裂带生长, 好似片麻状构造(图版XVI-1、2)。

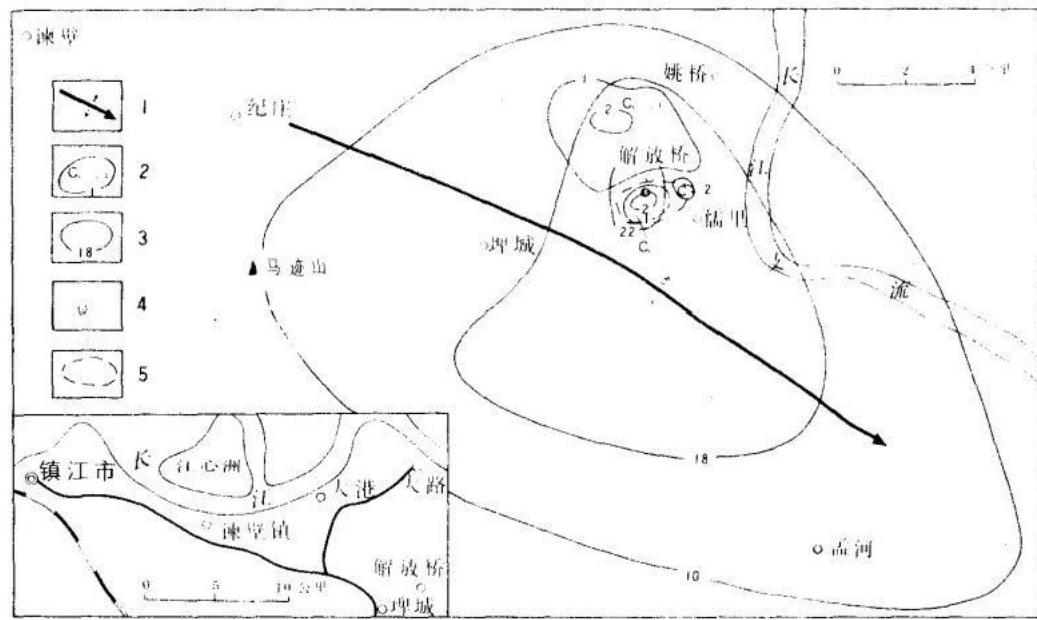
(八) 解放桥岩体

解放桥岩体为一隐伏辉长岩体*。位于镇江市东南30公里处。该岩体侵入于元古界埠城群及震旦系莲沱组、陡山沱组之中。

岩体所在位置的地球物理场为一区域性重、磁同高区(图III-13)。岩芯物性测定表明(表III-6), 该岩体的磁性强度与密度显著地高于周围的震旦纪地层, 应是局部重、磁同高异常的场源所在。因此, 根据重、磁异常总体形态推测, 该岩体呈椭圆形, 长轴北东东向。K-Ar法同位素年龄值为142.6百万年。

该岩体的岩石类型属辉长岩类, 但沿垂深方向岩性有所变化, 孔深300米之上为角闪辉长辉绿岩, 之下为橄榄角闪二辉辉长岩, 二者相比, 有下列差异: ①前者色浅, 呈灰绿色,

*江苏省调大队, 1984年发现。



图三-13 解放桥岩体位置和重、磁异常简图

1. 纪庄—后朱巷复式背斜
2. 航磁等值线($\times 100y$)及异常编号:
3. 重力布格等值线(单位毫伽):4. 钻孔: 5. 推测解放桥辉长岩体界线

表三-6 解放桥岩体及围岩物性参数

参数	孔深(米)	磁化率 $K \times 10^{-6}$ (GSM)	剩磁 (J, $\times 10^6$ cGSM)	Q (J/J ₀)	密度 ($\sigma \times$ 克/立方厘米)
岩性 角闪辉长辉绿岩	100-300	280	440	1.6	2.88
角闪橄榄二辉辉长岩	300-398	470	2370	5.0	2.92
震旦系的灰岩、白云岩 、千枚岩		斤磁性或弱磁性		2.70-2.55	

色率44%: 后者色深, 呈墨绿色, 色率65%: ②前者为中粒辉长-辉绿结构; 后者为粗粒辉长结构, 含有长达1厘米的辉石、角闪石晶体, 少数黑云母片径达5毫米; ③前者含有石英和钾长石、局部见斜长石三角形格架中有长英文象共结体(图版XVI-4); 后者以富含紫苏辉石、橄榄石和黑云母为特点。这两种岩石均具有暗色矿物反应边结构, 反应系列如下: 橄榄石→紫苏辉石、普通辉石→普通角闪石→黑云母, 其中以普通辉石→普通角闪石的反应边最发育。

随着岩性的变异, 该岩体上、下两部分的化学组分也有相应的变化。上部相对富含硅、铝、钙; 下部富含镁、铁。其中以MgO的差异最显著, 上部含量为8.38%, 下部为16.08%, 相差近一倍(表III-23)。微量元素含量的差异以Ni、Cr最显著(表III-26), 上部分别为82和138ppm, 下部分别为220和331ppm, 相差约2.5倍。上述资料表明, 超基性岩浆元素Mg、Cr、Ni均向下部富集, 反映了岩体由上至下有向超基性岩演变的趋势。此外, 该岩体富含P, 上部为1391ppm, 下部为1011ppm, 是同类岩石克拉克值的10倍和7.2倍。

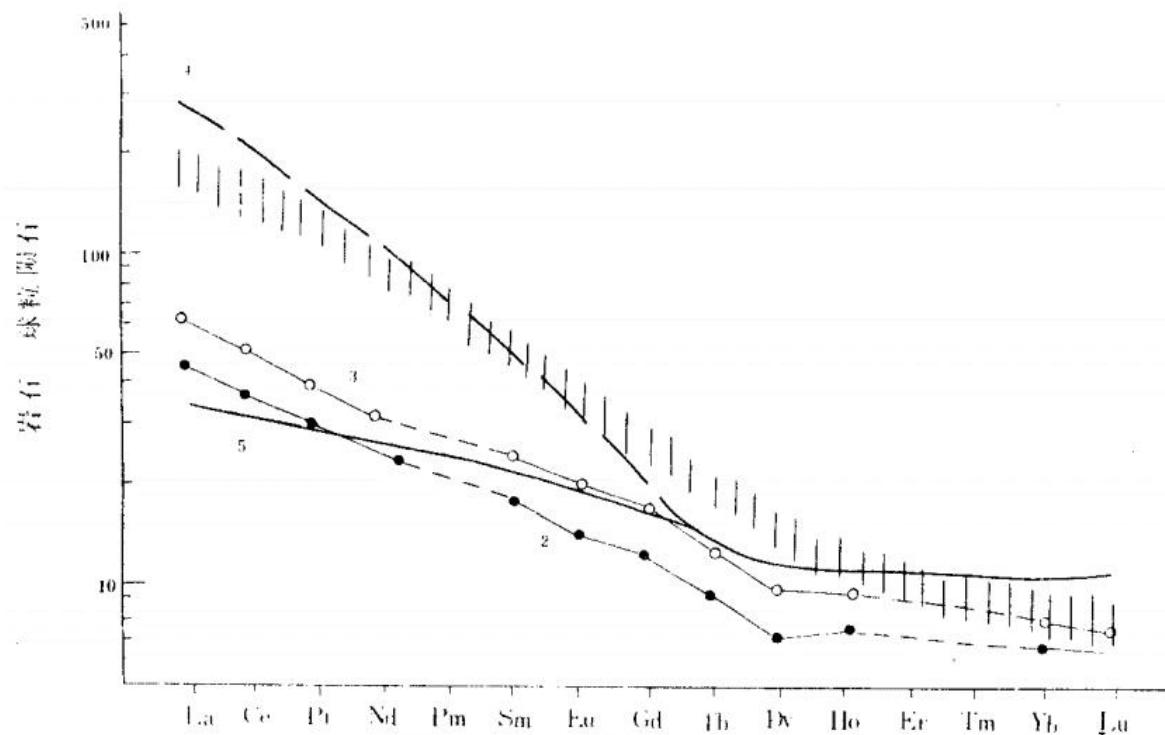
该岩体与蒋王庙基性岩体虽系同期产物, 但二者在化学成分及矿物特征上都有明显的差

异(表III-7)，解放桥岩体含有石英和长英文象共结体以及紫苏辉石，暗色矿物反应边结构也很发育，而蒋王庙岩体基本未见这些矿物和结构。两者的稀土元素组成模式也有显著的不同(图III-14)，解放桥岩体与世界大陆拉斑玄武岩相近，蒋王庙岩体与世界碱性橄榄玄武岩接近。总之，从各自的特征判断，解放桥岩体属拉斑玄武岩系，蒋王庙岩体属弱碱性(或碱钙性)玄武岩系，因此，二者虽属同期，但不同源。本区广泛分布的中酸性岩体，属钙碱性岩系，与拉斑岩系的解放桥岩体不具演化关系。

表三-7 解放桥岩体与蒋王庙岩体特征值对比

岩体	里特曼指 数	Mgo/ (FeO)*	微量元素(ppm)				稀土元素	
			V	Ti	Ni	Cr	SREF(ppm)	ZLREE/ Σ HRE
解放 桥	2.45-3.19	1.34	85	31 46	15 1	23 5	78-107	6.5
蒋王 庙	4.5-26	0.75	25 6	59 08	47	64	180--234	10.54

$$*(\text{FeO}) = 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$$



图三-14 稀土元素组成模式对比图

删除[miao Gu]: 上

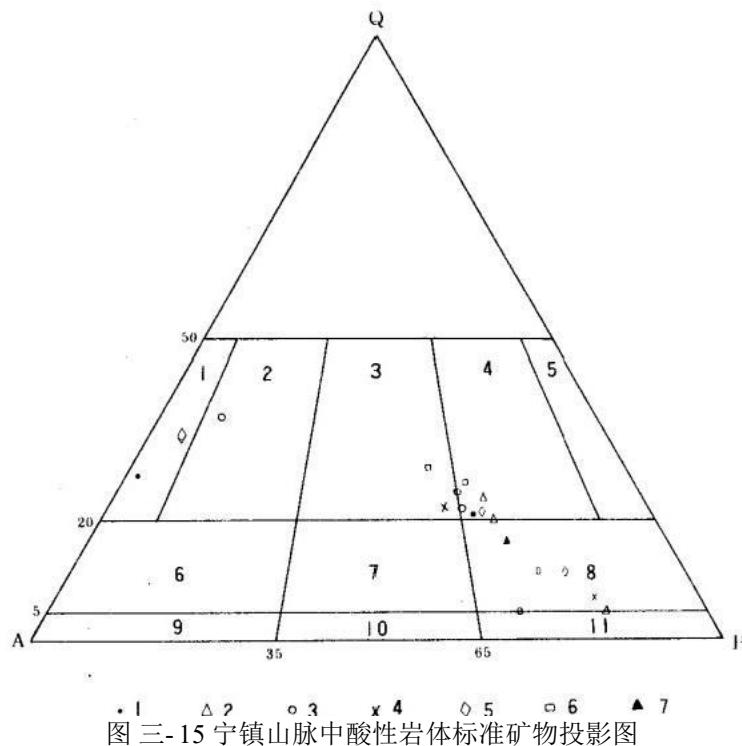
1. 蒋王庙岩体的辉长岩；2. 解放桥岩体的橄榄角闪二辉辉长岩；3. 解放桥岩体的角闪辉长辉绿岩；4. 世界碱性橄榄玄武岩；5. 世界大陆拉斑玄武岩

三、岩石类型及造岩矿物和副矿物特征

(一) 侵入岩分类与命名

本志基本上采用国际地质学会火成岩分类分会(1972)所通过的深成岩分类和命名法⁽¹⁶⁵⁾，仅对花岗岩类作了部分修改(图III-15)。

分类命名是采用浅色矿物(石英、碱性长石、斜长石)三角形投影法。对于中粗粒结构的岩石，以镜下实测的矿物含量百分比进行投影，对霏细、微粒、微嵌晶结构的岩石，则采



图三-15 宁镇山脉中酸性岩体标准矿物投影图

分类说明：1. 碱性长石花岗岩；2. 花岗岩；3. 二长花岗岩；4. 花岗闪长岩；5. 斜长花岗岩；6. 石英正长岩；7. 石英二长岩；8. 石英闪长岩；9. 正长岩；10. 二长岩；11. 闪长岩
图例说明：1. 其林门杂岩体；2. 安基山杂岩体；3. 高资杂岩体
4. 新桥杂岩体；5. 石马杂岩体；6. 谅壁杂岩体
7. 尖山岩体

粒度和斑晶相差悬殊者，将“斑”字置于岩石的根基名称中，肉眼或放大镜可以辨认，基质粒度与斑晶相差较小者，称似斑状结构，置于根基名称之前，例如斑状花岗闪长岩。

岩石的全称按下列顺序表达：结构—副矿物—暗色矿物—根基名称。

(二) 岩石类型各论

现将宁镇山脉侵入岩从超基性至酸性各类主要岩石列述如下：

(1) 磁铁辉石岩、橄榄辉石岩

分布于樱驼村、南京林学院等地。岩石呈深绿色、绿黑色，半自形—它形粒状结构，粒度 $0.7 \times 0.9 - 2 \times 4.5$ 毫米。矿物成分：辉石50-85%，角闪石3-5%，斜长石2%，磁铁矿5%，伊丁石化橄榄石0-5%。次生矿物有绿帘石。副矿物有磷灰石、榍石等。

辉石岩呈细脉状产于辉长岩体中心相带的橄榄辉长岩中，可能是主岩体侧分泌的超铁镁质岩石。

(2) 橄榄辉长岩类

见于蒋王庙岩体的内部相带和解放桥岩体的下部。岩石呈深绿色，绿黑色，半自形中粗

用标准矿物Q—A—P的体积百分比进行投影。

关于标准矿物ab在or和an中的分配，我们根据本区花岗岩类钾长石和斜长石单矿物的化学分析和费氏旋转台测定资料：钾长石中含钠长石分子15%左右，斜长石中含钠长石分子70%左右，按上述比例，将标准矿物ab先分配给斜长石(P)，再分配给钾长石，若仍有剩余，则形成钠长石，归入碱性长石(A)中。这样处理比较接近于自然实体，与化学分类吻合。

按上述分类方案和方法确定岩类的根基名称，再根据暗色矿物、副矿物，并结合岩石结构，确定岩石名称的冠词。角闪石、黑云母含量>5%，副矿物含量超过1%时，方可反映在冠词中。

对于斑状结构的岩石在命名时作如下规定：基性和中性的斑状岩石称玢岩；中酸性和酸性岩石称斑岩。基质为微晶、显微嵌晶、显微球粒和霏细结构，基质

删除[miao Gu]: 楔

粒辉长结构。从表III-8中可知，两岩体的橄榄辉长岩的矿物成分有一定的差异，前者富含斜长石，局部有橄榄石聚集(图版XII-1)；后者以富含暗色矿物为特点，并出现紫苏辉石与普通辉石共存的现象和一系列暗色矿物反应边(图版XVI-3)。

删除[miao Gu]: XI

表三-8 辉长岩类矿物成分(%)

岩体	岩石名称	斜长石	紫苏辉石	普通辉石	橄榄石	角闪石	黑云母	磁铁矿	钾长石	石英	副矿物
蒋王庙	橄榄辉长岩	55-65		20-30	5-10	2	少	3			磷灰石
	角闪辉长岩	55-70		10-20	少	15-20	少	1-3			磷灰石、榍石
解放桥	橄榄角闪黑云辉长岩	35	15	20	5	15	10	少		少	磷灰石、磁铁矿、方解石、榍石
	角闪辉长辉绿岩	50	5	10	1-2	25	2	少	3	2	磷灰石、方解石、榍石

(3) 角闪辉长岩类

见于蒋王庙岩体内部相带和解放桥岩体上部。岩石呈灰绿色，块状构造，中粗粒辉长—辉绿结构。矿物成分见表III-8。两个岩体主要区别在于后者含有紫苏辉石和钾长石—石英英文象共结体(图版XVI-4)，有时，在由斜长石构成的三角形格架中充填有方解石(图版XVI-5)，而前者未见有这三种矿物。

(4) 辉长岩

分布于蒋王庙、南京林学院、王家湾、航空公墓、兴卫村等地。岩石呈深灰色、块状构造，有时磁铁矿呈定向排列而显示条带状构造。辉长结构，局部为辉绿结构。矿物成分：拉长石55—80%，普通辉石10—43%，黑云母3%，磁铁矿2%及少量橄榄石、角闪石。副矿物有磷灰石、榍石等，据四个薄片统计，磷灰石含量可达2.2%⁽¹⁶³⁾。

删除[miao Gu]: 楔

因此，该辉长岩以富含磷灰石和磁铁矿为特点。

据周新民资料，在岩体边部，辉长岩中含有2.6—4.3%的紫苏辉石(Fs=32%，Ng-Np=0.0127，(一)2V=70°±2°)，而且黑云母富集，含量达9.1%，命名为云苏辉绿辉长岩⁽¹⁶¹⁾。

设置格式[miao Gu]: 上标

(5) 辉石闪长岩

分布于南京太平门外的王家湾、航空公墓、兴卫村等地。呈深灰绿色，辉长含长结构。

矿物矿分：斜长石(An50)57—75%，绿色普通角闪石18%，辉石5%左右，黑云母3—5%。

副矿物有磷灰石、磁铁矿、榍石等。该岩石含磷灰石和榍石甚多，含量分别达2.8%和0.9%⁽¹⁶¹⁾。

删除[miao Gu]: 極

删除[miao Gu]: 帽

(6) 闪长岩

分布于蒋王庙、王家湾、陈家山、航空公墓、玄武湖等地。呈深灰色块状构造，半自形中细粒结构。矿物成分：斜长石(An43)51-62%，普通角闪石15—30%，黑云母2—10%，石英2%，局部含钾长石达10%左右。副矿物有磷灰石(17%)、榍石(0.8%)、磁铁矿等。

删除[miao Gu]: 帽

岩石中的钾长石呈它形，交代并包裹斜长石，故钾长石是期后碱交代的产物。

(7)(石英)闪长玢岩

该类岩石分布于南京东北郊的大红山、杨坊山，其林门之北东2公里的芝麻山，亭子以

东的新桥、中大河，石马之南的条状山、沈家山、太阳山，谏壁之东的粮山等地，均呈小岩株、岩枝产出。

岩石呈深灰色、块状构造，局部流动构造发育而呈现条带状，岩石呈斑状结构，基质为它形一半自形微晶、微嵌晶或霏细结构。斑晶主要为斜长石、其次有角闪石、黑云母。斑晶含量不均，多达50%，少仅1%，一般30—35%。斜长石斑晶粒径一般为 2×4 毫米。基质成分主要为长英质微晶(石英含量5%左右)，其次有角闪石、黑云母和少量辉石。暗色矿物分布不均，如其林铺岩体以角闪石为主，最高含量达18%，粮山岩体以黑云母为主，最高含量达10%，平均含量7.35%。甚至同一岩体中暗色矿物含量变化也很大，这是本区浅成小岩体的特点之一。副矿物一般有磷灰石、榍石、磁铁矿等，粮山岩体和条状山岩体中有较多的黄铁矿。

| 删除[miao Gu]: 楔

(8)石英闪长斑岩—花岗闪长斑岩—二长花岗岩

这是一套相变的岩石组合，是燕山晚期第二次岩浆活动的产物，在宁镇山脉各杂岩体均有分布，常构成规模较大的岩基和岩株，其岩性沿水平方向和垂深方向均有所变化。

石英闪长斑岩：该类岩石在安基山岩体内分布最广，其次见于下蜀、徐湾、丹徒镇岩体的边缘相带和尖山岩体中。呈灰色、灰绿色，块状构造，斑状或聚斑结构，基质为微晶、微嵌晶或霏细结构。斑晶以斜长石为主，其次为角闪石，再次为黑云母和石英。斑晶含量20—45%，粒径 2×5 毫米。基质细，常呈隐晶状，以长石和石英为主，但二者尚未独立晶出，构成固相混溶的集合体，呈球粒状、团块状，镜下呈现斑状消光。造岩矿物含量见表III-9。副矿物有磷灰石、磁铁矿、榍石等。

表三-9 中酸性岩类主要矿物成分(%)

岩类 造岩矿物	石英闪长斑岩		斑状花岗闪长岩		二长花岗岩
	斑晶	基质	斑晶	基质	
斜长石	20-40	长石质 微晶60 -70	25-50	20-25	30-40
钾长石				15	25-40
石英			少量	20	20-25
角闪石	2	4	1-2	3	2-5
黑云母		3-4	1-2	3-5	2-8

花岗闪长(斑)岩：分布于白鹅山、下蜀、徐湾、丹徒镇岩体及安基山、尖山岩体的部分地段。呈灰色，微带肉红色，块状构造，斑状—聚斑结构，基质为微粒—细粒花岗结构，在岩体的内部和深部，过渡为连续不等粒结构和似斑状结构，称之为中粗粒花岗闪长岩或斑状花岗闪长岩。斑晶由斜长石、角闪石、黑云母、石英组成，斑晶含量25—55%，粒径3—5毫米，最大的斜长石和角闪石斑晶长达12毫米。基质由斜长石、钾长石、石英和少量角闪石、黑云母组成，粒径0.03—0.2毫米。副矿物有磷灰石、磁铁矿、锆石、榍石、金红石等。

二长花岗岩：分布于下蜀、徐湾、丹徒镇岩体的内部相带。呈浅灰—肉红色，全晶质，半自形—他形粒状结构，石英粒径3—5毫米，局部为二长结构。主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石组成(表III-9)，副矿物有磷灰石、磁铁矿、锆石、榍石等。

高资杂岩体与谏壁杂岩体的二长花岗岩略有区别，前者暗色矿物以角闪石居多，后者以黑云母占优势。

(9)花岗岩和碱长花岗岩

分布于牛头山、雷巷、东林场等地。呈浅黄—肉红色。一般为块状构造，雷巷地区的细粒花岗岩具有晶洞构造。斑状结构或细粒花岗结构，局部为文象结构和花斑结构，斑晶为更一钠长石、石英、黑云母，基质为钾长石、钠长石、石英和少量黑云母。其标准矿物含量见表III-10。该类岩石有如下特点：①色率很低，浅色矿物含量大于93%；②碱性长石含量很高，均大于50%，比中一更长石含量高10—46倍；③碱性长石中钾、钠长石之比由西向东逐渐增高；④暗色矿物含量很低，而且一般只有黑云母。副矿物有锆石、磷灰石、榍石、褐帘石等。

表三-10 花岗岩类主要矿物成分 (%)

岩体 \ 矿物 含量	石英	中—更长 石	钠长石	钾长石	其它
牛头山	26.73	2.11	42.48	25.86	2.82
雷 巷	37.02	5.19	19.56	31.68	6.60
东林场	33.00	1.38	21.89	41.64	2.09

*根据标准矿物计算

(10)辉石闪长(玢)岩—细粒角闪闪长岩(包体)

这种岩石是赋存于中性和中酸性岩体以及中酸性火山岩中的捕虏岩块。西自板仓杂岩体，东至谏壁杂岩体均有分布。

其形态以椭球居多，有的呈棱角状，大小悬殊，大者直径达1米，小者仅1厘米，一般20厘米左右。有时成群出现，定向排列，长轴方向大致平行接触面，可作为原生流动构造的标志。该包体轮廓清楚，与主岩体呈突变关系，但仔细观察，可见其外围有一圈薄反应边，主岩体的矿物环绕包体平行排列(图版XV-2)。

该捕虏体呈灰绿色，块状构造，斑状结构，基质为半自形粒状结构。斑晶成分：斜长石10%、辉石1—2%；基质成分：斜长石60—70%、角闪石2—5%、辉石3—5%、黑云母2—5%、长英质球粒5%、氧化铁和金属矿物2%。副矿物有榍石、磷灰石等。

斜长石斑晶(图版XV-1)呈半自形板状，粒径一般1×2毫米，大者可达3×6毫米，具有钠长律双晶，An23，波状消光或斑块状消光。内含辉石、角闪石、黑云母、石英以及早期生成的斜长石包裹体，其轮廓受基质矿物的限制，边缘凹凸不平。由上可知，该斑晶是后生的，属再生斑晶，晚于基质矿物。基质中的斜长石An32左右，可见环带构造。辉石为半自形柱状，多为普通辉石，但有的辉石斑晶横切面近于正方形，属透辉石，内含棒状磁铁矿。角闪石呈绿色，半自形柱状。黑云母呈棕色、自形，大部已蚀变成绿泥石。在基质中局部有长英质纤维状球粒，其折光率近于树胶。在个别薄片中，见主岩体(石英闪长斑岩或花岗闪长斑岩)穿入包体中。显然二者有先后之别，所以，该包体不是析离体。

有人根据捕虏体的K-Ar同位素年龄值(215百万年)，认为区内有印支期岩浆活动，但至今宁镇山脉尚未发现印支期同类岩体。我们认为，放射性成因的Ar是易于丢失的，在燕山

期强烈的岩浆活动中，如此碎小的岩块，是不可能保持原来热状态的。所以，此年龄值也不可能原岩体的真实年龄，而且，岩块中有斜长石再生斑晶和透辉石存在，也证明了该类岩块曾经历了理化环境的剧烈变化。由此推测，该包体为深源捕虏岩块。

(三) 造岩矿物特征

本区侵入岩的造岩矿物有橄榄石、辉石、角闪石、黑云母、斜长石、钾长石、石英等。

(1) 橄榄石：主要见于蒋王庙岩体和解放桥岩体的橄榄辉长岩中，呈半自形—它形粒状，裂理发育，部分已蛇纹石化， $Fo=72\text{--}91\%$ ， $Ng-Np=0.0360$ ， $(-)2V=84^\circ\pm1^\circ$ ，属贵橄榄石。

(2) 辉石：有普通辉石和紫苏辉石两种，主要见于蒋王庙岩体和解放桥岩体，此外，在闪长岩类和石英闪长岩类中偶见普通辉石。

普通辉石：呈半自形—它形粒状，外表深绿色，镜下呈浅绿—无色，二轴晶，正光性， $C\wedge Ng=40^\circ\text{--}45^\circ$ ， $(+)2V=56^\circ\text{--}58^\circ$ ， $Ng-Np=0.0251$ ，常见简单双晶，横切面近八边形。蒋王庙岩体的辉石中见有沿解理呈平行排列的细小棒状磁铁矿，构成希勒结构(图版

XI-2)。其化学成分见表III-11，其中： $Wo:En:Fs=42:50:8$ ，属镁质普通辉石。

表 III-11 辉石化学成分(%)*

SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	H ₂ O
52.06	4.20	1.93	4.55	0.55	19.30	16.35	0.11	0.70	0.146	0.05	0.40

*样品采自解放桥岩体。

紫苏辉石：半自形粒状，多色性明显，淡红—淡黄色，二轴晶，负光性，平行消光， $En:Fs=68:32$ ， $Ng-Np=0.0127$ ， $(-)2V=70^\circ\pm2^\circ(161)$ 。

(3) 角闪石：可分棕色和绿色两种，前者见于基性岩，后者见于中—酸性岩，但二者均系普通角闪石。

棕色角闪石：镜下呈棕褐色，常以辉石的反应边出现， $C\wedge Ng=16^\circ$ ， $(-)2V=29^\circ$ ， $Fe+Mn+Ti/Mg=0.25\text{--}0.44$ 。

绿色角闪石：呈自形长柱状， $C\wedge Ng=15^\circ\text{--}17^\circ$ ，多色性显著， Np —浅黄绿色， Nm —黄绿色， Ng —绿色，吸收性公式为 $Ng > Nm > Np$ ， $Ng=1.667\text{--}1.670$ ， $Nm=1.656\text{--}1.663$ ， $Np=1.647\text{--}1.62$ 。

两种角闪石的化学成分有所不同(表III-12)，基性岩中的棕色角闪石富含Mg、Ti、Al，中酸性岩中的绿色角闪石富含Fe、Ca、MnFe+Ti+Mn/Mg比值，前者为0.48，后者为0.55。

表 III-12 角闪石化学成分(%)

序号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	F	Cl	P ₂ O ₅
1*	43.81	9.96	3.71	10.5	13.33	11.66	1.41	0.38	1.04	0.50	2.94	0.18	0.084	
2	49.58	12.14	2.42	8.55	10.60	14.95	2.51	0.138	0.62	0.98	1.53			0.05

*1号样取自安基山的花岗闪长岩；2号样取自解放桥岩体的橄榄角闪辉长岩。

角闪石常蚀变成绿帘石、阳起石、碳酸盐矿物等。

(4)黑云母：各类岩体中均有黑云母，多呈棕色，片状，片径2毫米左右，多色性明显， N_p ——浅褐黄色， N_m ——深棕红色， N_g ——深褐色，吸收性公式为 $N_g \geq N_m > N_p$ ，折光率 $N_g=1.638—1.646$ ， $N_m=1.638—1.646$ ， $N_p=1.589—1.592$ ， $(\pm)2V=0^\circ—5^\circ$ 。黑云母的化学成分因岩类不同而有较大的差异(表 III-13)，其中以Mg最显著，基性岩中黑云母的 $Mg/(Mg+Fe^{++}+Fe^{+++}+Mn)$ 值为0.74，中酸性岩中比值为0.60—0.65，前者富镁，后者富铁。此外， TiO_2 、 P_2O_5 和F的含量也有较大的差异，后者比前者高4—6倍。

表三-13 各侵入岩体中的化学成分(%)

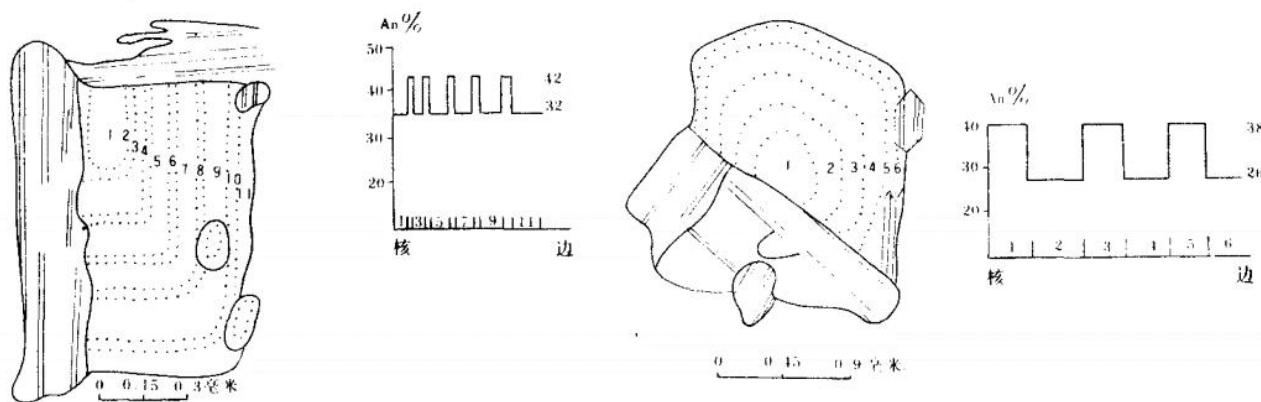
岩石类型	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	斑状花岗闪长岩	橄榄角闪辉长岩
采样地点	其林门	安基山	石马	解放桥
样品数		3	3	
SiO_2	36.98	36.79	36.55	37.61
TiO_2	4.00	4.34	5.00	0.86
Al_2O_3	14.60	14.74	13.67	14.20
Fe_2O_3	4.04	1.99	3.15	2.24
FeO	10.93	13.37	13.87	10.65
MnO	0.10	0.15	0.16	0.087
MgO	15.29	15.66	14.07	19.70
CaO	0.44	0.43	0.43	0.24
Na_2O	0.34	0.23	0.29	0.78
K_2O	8.68	7.94	8.60	9.00
P_2O_5	0.215		0.17	0.03
CO_2	0.05		0.55	
H_2O^+	2.82	3.5	.3.37	4.50
F	0.37	0.32	0.23	0.06
Cl	0.045	0.165	0.26	0.018
总和	98.90	99.65	99.57	100.015

黑云母常蚀变成绿泥石，同时析出铁质。

(5)斜长石：斜长石是侵入岩中最主要的造岩矿物；随着岩石类型的变化，其种属有所不同。蒋王庙辉长岩中以拉长石为主， $An=50—65$ ；角闪橄榄辉长岩中以倍长石为主， $An=73—80$ ；闪长岩和辉石闪长岩以中长石为主， $An=45—51$ ；中酸性岩类的斜长石多为中一更长石，由于环带构造发育，牌号变化较大， $An=13—48$ ，碱长花岗岩中以更一钠长

石为主，An=10左右。

斜长石的双晶类型以钠长石律双晶为主，其次有卡纳复合双晶，偶见肖钠双晶和巴温诺双晶。中酸性岩的斜长石，韵律性环带构造发育，通常5—10环，最高数可达20环(图III-16)。边部环带的长石牌号一般降低为An10—20。



图三-16 斜长石韵律环带安基山岩体(据陈思松)

斜长石的 $2V$ 也随岩类而异，辉长岩中斜长石 $(+)$ $2V=82^\circ$ ，中酸性岩中斜长石 $(-)$ $2V=86^\circ-89^\circ$ 。斜长石的有序率(δ)因岩体而异，蒋王庙岩体 $\delta=0.9$ ；安基山岩体 $\delta=0.6-0.8$ ，但局部有反常现象，如该岩体的石英闪长斑岩，斜长石内环的有序率为0.0，而边环为1.0；徐湾岩体 $\delta=0.7$ ；雷巷花岗岩 $\delta=1.0$ ；脉岩 $\delta=0.6$ 。说明本区侵入体的斜长石大部分介于低温有序型和高温无序型之间，这一特点与岩体的形成环境(中一浅成)是一致的。

斜长石常见的蚀变有绢云母化，绿帘石化，碳酸盐化，钠长石化和钾长石化等。

(6)钾长石：主要见于中酸性和酸性岩中，呈肉红色。常为它形一半自形粒状，分布于暗色矿物和斜长石之间。见有卡斯巴律双晶和条纹结构。局部与石英共结，构成文象结构(图版XIV-6)。在浅成相岩体中，钾长石与石英构成隐晶质球粒，其内含有细小的斜长石晶体。

中酸性岩体中钾长石的有序度为0—0.88，三斜度为0—0.67， $(-)$ $2V=32^\circ-76^\circ$ ，各项光性参数的变化范围都很大，甚至在同一块薄片中也出现较大的差异，反映了钾长石有序化程度的不均一。

经电子探针分析，花岗闪长岩中钾长石的主要化学成分(表III-14)由岩体边缘至内部含钾量增高，钠、钙含量降低。

表三-14 徐湾岩体钾长石简项化学成分*

相带	岩石类型	样品数	重量(%)			分子数		
			K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Or	Ab	An
边缘相	花岗闪长斑岩	7	11.59	3.81	0.56	62.7	31.85	5.45
过渡相	斑状花岗闪长岩	5	12.17	1.02	0.33	87.45	9.30	3.25

* 陈思松等，1981年资料

(7)石英：有下列几种形态：中深成相侵入岩的石英均为它形粒状，或与钾长石共结，

构成文象结构；浅成相和超浅成相侵入岩的石英常被熔蚀呈浑圆状、港湾状、偶见六方双锥体的 β -石英假象；斑状岩石基质中的石英常与长石成固相混溶的球粒或团块；超酸性的花岗岩体(如雷巷花岗岩)中的部分石英，呈细小透明的晶芽出现于微晶洞中。

(四) 副矿物特征

1.副矿物组合

本区侵入岩副矿物的含量见表III-15，其组合类型属磁铁矿—榍石—磷灰石—锆石型。这些副矿物在分布上有如下的规律性：

磁铁矿的含量与岩石类型有关，基本上是随着岩石基性程度的降低而减少，同时也受侵入相制约，如中深成相的下蜀岩体含磁铁矿高达9160克/吨，而与之相邻的浅成相的安基山岩体为972克/吨，相差近十倍。磁铁矿与赤铁矿(包括褐铁矿)二者含量的比值：中深成相岩体一般为5:1—20:1，浅成相岩体为1.5:1—0.5:1，反映了随着岩浆侵位升高，岩体氧化程度增高，二价铁转化为三价铁。

含钛矿物(榍石、锐钛矿、金红石)在西区侵入岩中种类多、含量高；中区侵入岩一般只含榍石和锐钛矿，金红石少见；东区侵入岩一般仅有榍石，表明由西向东，岩浆中Ti的浓度逐渐降低。

磷灰石是本区侵入岩中最普遍的副矿物之一，在岩浆演化过程中，磷灰石晶出的高峰期是在基性岩阶段。

锆石的含量基本上与岩石酸度正相关，最大值出现于中酸性岩阶段。

此外，本区侵入岩中尚有少量铬尖晶石，碳硅石等。铬尖晶石见于安基山岩体的花岗闪长斑岩中，呈自形八面体，其化学成分经光谱分析为(%)：Fe0.5、Al0.003、Ca0.03、Mg0.05、Mn0.003、Cr1.0、Sn0.02、Ti0.02⁽¹⁶⁶⁾，这是深源岩浆的标型矿物。碳硅石普遍存在于中酸性岩体中，为六方晶系的 α -SiC，也属深源高压矿物。

2.副矿物特征

(1) 磁铁矿：呈黑色，它形粒状，偶见八面体。除岩浆期原生磁铁矿外，尚有由蚀变交代作用从暗色矿物中析离产生的，如蒋王庙辉长岩体的橄榄石、辉石在与岩浆反应形成硅酸饱和矿物的同时，析出磁铁矿；中酸性岩的角闪石、黑云母经热液蚀变而成绿泥石、绿帘石和绢云母的同时，亦析出磁铁矿。

磁铁矿化学成分(表III-16)中， $\text{Fe}^{+++}/\text{Fe}^{++}$ 原子数比值一般>2，说明本区侵入岩氧化程度较高，尤以其林门杂岩体最强烈，已氧化成赤铁矿。辉长岩体的磁铁矿以富含V、Ti为特点， V_2O_5 、 TiO_2 与 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ (板仓岩体三项平均值)的比值分别为0.57%和2.41%；中酸性岩磁铁矿上述两项比值分别为0.28%和1.40%。安基山和石马岩体的磁铁矿富含Cu，是其他岩体含量的4-20倍，说明磁铁矿是铜元素的重要载体。

(2) 磷灰石：无色透明，六方柱状，蒋王庙辉长岩体中尤为常见，含量局部可达2%左右，常包裹于斜长石中，其晶出时期大致与角闪石相当，晚于辉石。在中酸性岩体中，磷灰石是最早晶出的矿物之一，常被包裹于所有的造岩矿物中。磷灰石的光性参数： $\text{No}=1.641 \pm 0.002$ ， $\text{Ne}=1.637 \pm 0.002$ ，轴比 $a:c=1:2.5-4$ 。比重3.11-3.17。中酸性岩与基性岩中磷灰石的化学成分(表III-17)主要区别在于F的含量，前者是后者的三倍。

(3) 楔石：有三种成因：一为岩浆期的，白形程度较高，呈信封状，但大部分为不规则粒状，呈浅黄、黄棕色，粒径0.7—0.15毫米；二为交代反应的产物，如蒋王庙辉长岩的

删除[miao Gu]: 楔

删除[miao Gu]: 楔

表三-15 侵入岩副矿物含量(克/吨)

杂署体	岩体	岩石名称	磁铁矿	赤铁矿	柳石	结石	金红石	锐钛矿	黄铁矿	磷灰石	其他
板仓	蒋王庙	闪长岩	35042.87	498.57	1680.74	25.73	87.37		微	473.57	电气石, 红柱石
		辉长岩	44565.90	29659.66	3993.70	少			少	631.56	
		辉石岩	52756.14	1258.60	12266.60	少		微	有	33.47	
其林门	牛头山	碱长花岗斑岩	150.79	1675.55	94.42	13.59	7.49	116.15	微	4.57	铅
	白鹅山	花岗闪长斑岩	2614.64	1763.56	93.76	10.82	61.33	83.75	激	209.30	
	其林铺	石英)闪长玢岩	8295.52		1441.07	10.46	数	数	微	13.31	重晶石
安基山		石英闪长斑岩、花岗闪长斑岩	972.00	158.00	105.00	52.00			31.08	200.00	重晶石, 方铅矿
高资	下蜀	石英闪长班岩、石英二长岩	9160.16	467.68	530.53	91.53			微	300.14	
	雷巷	细粒花岗岩		237.05	18.91	48.32		微	微	15.61	
新桥		(石英)闪长玢岩	2830.00	1025.00		0.78		239, 00 (含钛铁矿)	1.44	105.00	重晶石、方铅矿
石马	东林场	碱长花岗岩	249.00	29.73	131.50	85.91		少	19.90	47.76	
	徐湾	花岗闪长岩	8624.28	1919.76	86.75	120.80		6.40	1.0	198.66	钛铁矿4282)
	闪长玢岩(包体)		16980		T70	80.00				333.00	钛铁矿(035)
	条状山	石英)闪长玢岩	20.39	2887.62	少	31.33			39.20	12.41	
谏壁	丹徒镇	(九华山段)花岗闪长斑岩	1246	2572	103	84			18	213	孔雀石。刚玉
		(横山段)花岗闪长班岩	676	337	79	56			220	7.69	自然金、辰砂, 辉钼矿
	南昌	花岗闪长斑岩	10:80	426	0.26	0.43			4.72	13.14	刚玉, 辉钼矿, 自然金辰
	粮山	(石英)闪长玢岩	2697.70	32.55	204	70.32			1105.5	247.10	

表三-16 侵入岩磁铁矿化学成分(%)

杂岩体	岩石类型	样 品 数	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	V ₂ O	Cr ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	Fe ³⁺ /Fe ²⁺ (原子数比值)
板仓	闪长岩	2	69.96	26.54	0.92	0.54	0.75	0.57	0.13	0.13	0.45	0.06	0.003	0, 005	0, 0017	0.0012	2.38
	辉长岩	1	67.25	30.00	0.90	0.49	1.15	0.38	0.13	0.11	0.51	0.11	0.002	0.006	0.0024	0.006	2.02
	辉石岩	1	59.81	30.40	0.80	2.02	4.70	0.15	0.85	0.33	0.66	0.60	0.007	0.032	0.0010	0.049	1.79
其林门	花岗闪长斑岩		80.30	16.30	.26	0.68	0.46	0.32	0.09	0.04	0.40	0.03	0.000	0.002	0.0046	0.0055	4.43
安基村	花岗闪长既岩	2	67.86	29.30	0.85	0.58	0.33		0.12	0.07	0.183				0.0136	0.025	2.10
	石英闪长斑岩	2	64.39	28.16	1.78	2.00	1.59		0.42	0.13	0.119				0.0081	0.075	2.06
	石英; 闪长玢岩	1	68.41	26.40	1.26	1.83	0.24		0.99	0.25	0.013	0.0013					2.33
高资	二长花岗岩	1	77.01	18.60	1.44	0.90	0.49	0.76	0.10	0.08	0.32	0.12	0.003	0.015	0.0014	0.008	3.72
	花岗闪长斑岩	1	66.17	29.60	0.84	0.47	1.15	0.72	0.10	0.19	0.34	0.10	0.006	0.009	0.0024	0.021	2.01
	细粒花岗岩	1	67.04	27.80	0.62	0.58	1.98	1.02	0.07	0.31	0.40	0.17	0.004	0.008		0.047	2.17
石马	花岗闪长斑岩	1	65.67	29.05	1.10	0.51	1.92		0.14	0.13	0.39				0.021	0.026	2.03
	斑状花岗闪长岩	2	61.63	31.03	0.83	0.59	3.27		0.13	0.27	0.33	0.17			0.007	0.033	1.79
	细收角闪闪长岩	1	68.37	27.02	0.92	0.58	1.54		0.12	0.08	0.33	0.053			0.022	0.023	2.28

表三-17 磷灰岩化学成分(%)

采样地点	岩石类型	样品数	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	CO ₂	H ₂ O	F	Cl	Cu
安基山	花岗闪长斑岩	2	53.95	40.16	0.92	1.22	0.96	2.04	0.89	0.0032
安基山	石英闪长斑岩	2	54.25	40.8	1.35	0.84	0.80	1.85	0.50	0.0008
解放桥	橄榄角闪辉长岩	1	53.00	39.8			0.48	0.65	0.704	

磁铁矿周围有环边状的榍石(图版XI-3)，这是含钛磁铁矿与岩浆反应形成的，中酸性岩体中的蚀变黑云母、角闪石的边缘或内部，也常有不规则状的榍石，可能是蚀变析离的产物；三为混染成因的，如蒋王庙岩体与灰岩接触的部位，有大量聚堆状的榍石，最高含量达10%这是岩浆与灰岩同化混染的结果。

榍石的化学成分(表III-18)中，以富含稀土元素(La、Ce、Y)为特点，是稀土元素的重要载体矿物之一。

表三-18 树石化学成分(%)

岩石类型	TiO ₂	CaO	SiO ₂	AlO	Fe ₂ O	FeO	MnO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	F	Cl	Ce	La	Y	Th
细粒角闪闪长岩 (石头岗)	36.60	26.80	30.60	1.15	1.80	0.10		0.26	0.10	0.14	0.40	0.19	0.05	0.30	0.15	0.025	0.025
斑状花岗闪长 岩(香山)	35.20	26.00	32.00	1.73	1.84	0.40	0.18	0.12	0.12	0.06	0.54	0.14	0.08	0.70	0.25	0.09	0.05

(4)锆石：锆石是本区中酸性岩中常见的副矿物，无色透明，或呈浅黄、浅玫瑰色。通常由(100)、(110)柱面，(111)锥面和(131)、(311)偏锥面组成(图III-17)。

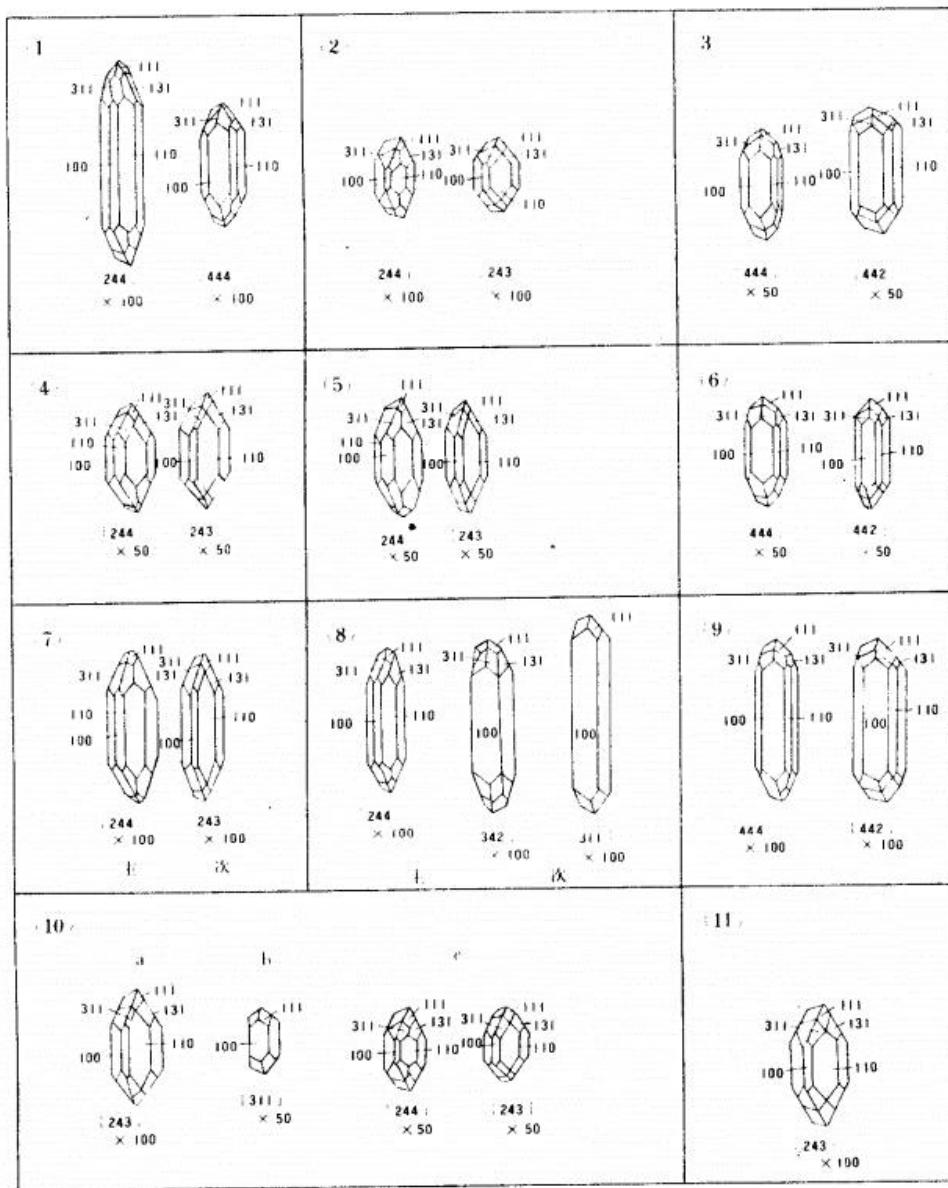
锆石外形特征：中深成相岩体以短柱状居多，长宽比为1:1—2:1，而且被熔蚀成浑圆状或晶面上有熔蚀凹坑，并呈现混浊状；浅成相岩体以长柱状居多(图版XVI-6)，长宽比为2:1—4:1，晶形完整，棱角清楚，透明度高。经详细测定(每样分级测200粒)，安基山杂岩体各类岩石的锆石晶体长宽平均比值均在1:0.35—0.39之间，表明它们是同源，同深度压力条件下生成的。由此推测，锆石的外形与岩体生成时的物理化学环境有关。

锆石晶体与岩体时代无明显的关系，而与岩石的化学成分有一定的相关性。凡是基性程度高，CaO含量大于3.5%的侵入岩，锆石晶体较为复杂，锥体单形种类多，常有(111)、(131)、(311)，有时还出现(331)锥面，而且(100)和(110)柱面同时存在，共同组合成一个复杂的聚形。凡是酸性程度高，CaO含量小于1%的侵入岩，锆石晶形简单，锥体单形种类少，往往只有(111)锥面和(100)或(110)柱面，组成简单的四方锥一柱体。中酸性岩(SiO₂65%、CaO3%左右)的锆石晶体的单形组合介于上述二者之间。

一、岩石学及微量元素地球化学

(一) 岩石学特征

本区侵入岩主要化学组分，除Na₂O近似对数正态分布外，其余均接近算术正态分布(图III-18)，故以算术平均的方法计算侵入岩主要化学组分的平均值。



图三-17 侵入岩锆石晶形图

()内数字为锆石晶形编号, 参见山东省地矿局实验室(1974)《锆石晶形分类图册》

1. 丹徒镇岩体; 2. 下蜀岩体; 3. 安基山岩体; 4. 条状山岩体; 5. 徐湾岩体; 6. 东林场岩体; 7. 其林铺岩体; 8. 白鹅山岩体; 9. 牛头山岩体; 10. 蒋王庙岩体: a. 辉石岩; b. 辉长岩; c. 闪长岩; 11. 中天河岩体

经筛选后, 本志中大部分硅酸盐样品的分析成果总量在99.3—100.7之间, 仅有少数样品不合格, 其原因是: 某些组分(如基性岩中的Cr、Ni、Co)含量较高, 但未列入总量; 或因某些岩体或相带缺乏样品, 无可选择; 或因某些岩体普遍蚀变, 只能用蚀变岩石的硅酸盐资料来反映该岩体的岩石化学特征。

现按岩石的酸性组分、碱性组分、基性组分、挥发组分及其相关性来阐述本区侵入岩岩石化学特征(表III-19)。

1. 酸性组分

表三-19 侵入岩化学成分及岩石化学指数

杂岩体	岩体	岩石类型	样数	岩石化					
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO
板仓	蒋王庙	橄榄辉长岩		40.76	0.83	8.98	6.37	11.22	0.32
		辉石岩	1	43.10	1.50	4.13	10.80	8.42	0.29
		角闪辉长岩		43.49	1.63	17.02	6.92	6.10	0.16
		辉长岩	1	50.65	1.08	17.03	4.01	4.97	0.15
		闪长岩	1	55.25	0.87	16.00	3.52	4.34	0.13
	杨坊山	(石英)闪长玢岩	1	63.88	0.56	17.95	3.36	0.36	0.07
	尖山	石英闪长斑岩		62.86	0.46	15.73	J.89	3.22	0.08
其林门	其林铺	(石英)闪长玢岩	1	60.21	0.78	16.19	2.92	2.02	0.045
	白鹅山	花岗闪长斑岩		66.96	0.29	15.98	2.09	1.10	0.02
		黑云母斑状花岗闪长岩	1	68.04	0.31	16.23	2.23	0.37	0.01
		花岗闪长斑岩	5	69.61	0.29	16.70	1.17	0.37	0.02
	牛头山	碱长花岗斑岩	2	73.66	0.14	14.70	0.58	0.38	0.01
安基山		花岗闪长斑岩	12	66.20	0.35	15.51	1.47	1.89	0.15
		石英闪长斑岩	5	64.45	0.42	15.83	1.75	2.07	0.068
		闪长玢岩	5	54.07	0.91	16.00	3.06	3.70	0.13

*DI—分异指数; SI—固结指数; σ——里特曼指数; K'——钾质指数; Mg'——镁质指数; O'——氧

化率。

化学成分(%)								岩石化学指数					
MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	合计	DI	SI	O	K'	Mg'	O
18.62	7.94	0.76	0.18	0.23	2.62	0.23	99.06	7.78	46.83		19.14	47.96	0.36
13.70	15.50	0.49	0.18	0.26	1.58	0.11	100.06	5.29	40.78	4.48	26.86	41.61	0.56
6.64	11.66	2.95	0.64	0.97	0.87	0.10	99.15	27.14	28.55	26.30	17.82	33.77	0.53
4.83	7.71	3.93	2.03	0.44	1.36	1.49	99.68	46.66	24.43	4.64	34.06	34.97	0.44
3.7	6.11	3.29	4.15	0.39	0.96	0.61	99.33	58.12	19.51	4.51	55.77	32.06	0.44
0.54	1.30	8.51	0.81	0.27	1.55	0.45	99.62	87.26	3.97	4.16	8.69	12.67	0.90
2.3?	3.7	4.07	3.01	, 25	1.30	0.20	99.16	69.18	15.98	2.52	42.51	31.22	0.36
1.45	3.30	4.77	3.10	0.27	0.69	0.55	99.91	75.71	11.15	2.91	39.39	28.26	0.59
3.80	4.12	7.14	0.42	0.31	1.28	0.16	99.39	69.26	23.31	3.32	5.55	43.47	0.59
0.79	2.50	4.7	3.65	0.18	0.79	0.54	99.66	82.16	6.40	2.91	43.66	19.84	0.65
0.79	2.09	4.5	2.92	0.19	1.74	0.09	99.52	82.75	7.30	2.20	39.30	23.30	0.86
0.48	1.24	7.75	0.98	0.16	0.77	0.08	99.62	90.27	4.46	2.86	11.22	23.76	0.75
0.16	0.32	5.51	3.74	0.0	0.78	0.09	100.13	95.94	1.54	2.79	40.43	14.28	0.60
1.55	2.97	4.17	3.03	0.20	1, 35	1.71	100.55	76.36	12.79	2.23	42.08	31.56	0.43
1.69	3.28	4.34	2.98	0.19	1.66	1.57	100.72	74.46	13.17	2.49	40.72	30.07	0.45
5.0	6.46	4.20	1.44	0.53	2.03	S=1.8 4 0.44	99.92	50.14	32.03	2.87	25.53	47.26	0.48

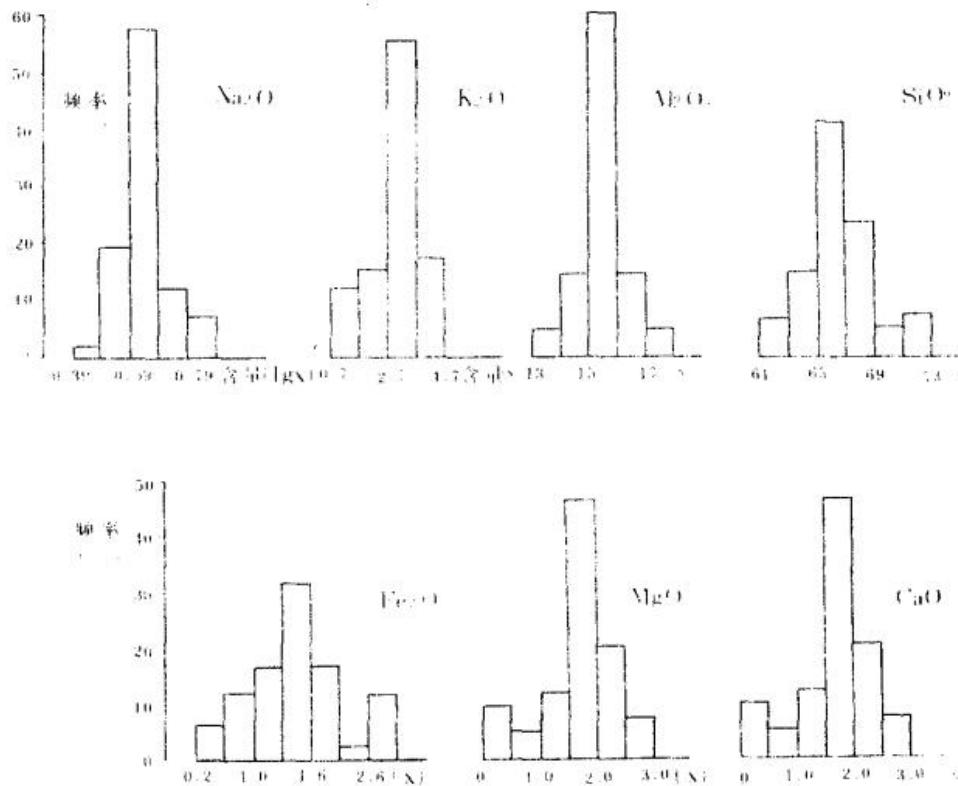
侵入岩化学成分

杂岩体	岩体	岩石类型	样数	岩石化					
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO
高资	下蜀	(内部相)花岗闪长岩	8	66.83	0.43	14.75	1.54	2.20	0.06
		(过渡相)斑状花岗闪长岩	4	66.33	0.41	15.16	1.72	2.04	0.07
		(边缘相)花岗闪长斑岩	3	65.52	0.46	15.58	1.08	1.97	0.07
		平均值		66.23	0.43	15.16	1.45	2.07	0.07
	雷巷	细粒花岗岩	2	76.31	0.10	12.15	0.89	0.59	0.02
新桥	中大河	(石英)闪长玢岩	2	58.14	0.59	15.81	3.72	1.59	0.08
		角闪闪长玢岩(包体)	1	49.20	1.30	16.36	5.08	3.10	0.224
	范巷	花岗闪长斑岩		66.06	0.39	14.57	1.06	2.17	0.06
石马	条状山	(石英)闪长玢岩	3	62.90	0.56	16.27	0.77	3.09	0.077
	徐湾	(过渡相)斑状花岗闪长岩	9	66.23	0.14	15.29	1.52	2.23	0.07
		(内部相)花岗闪长岩	10	65.54	0.48	15.27	1.75	2.31	0.05
		平均值		65.89	0.45	15.28	1.64	2.27	0.06
	东林场	碱长花岗岩	2	76.41	0.10	12.33	0.53	0.40	0.01
		角闪闪长玢岩(包体)	1	53.88	1.19	16.75	3.51	4.63	0.17
谏壁	丹徒镇	(内部相)二长花岗岩	1	69.58	0.25	14.31	0.98	2.12	0.06
		(边缘相)花岗闪长斑岩	5	67.02	0.37	14.93	1.52	2.19	0.07
	南吕	花岗闪长斑岩		67.22	0.36	15.23	0.59	2.42	0.06
	解放桥	角闪辉长辉绿岩	1	48.33	0.81	16.92	4.26	3.69	1.14
		橄榄角闪二辉辉长岩		46.79	0.61	11.06	5.14	5.66	1.11

及岩石化学指数

续表III-19

学成分(%)								岩石化学指数					
MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	合计	DI	SI	0	K'	Mg'	0'
1.70	2.87	4.27	3.74	0.18	0.82	0.74	100.13	78.47	12.63	2.69	46.69	31.25	0.41
1.68	2.96	3.92	3.50	0.21	1.17	0.34	99.51	76.37	13.06	2.35	47.16	30.88	0.45
1.77	3.68	4.81	3.21	0.23	0.93	0.47	99.78	76.41	13.78	2.85	40.02	36.72	0.35
1.72	3.17	4.33	3.48	0.21	0.97	0.52	99.81	77.07	13.18	2.62	44.55	32.82	0.41
0.27	0.86	3.38	4.63	0.06	0.48	0.07	99.81	93.38	2.72	1.92	57.80	15.42	0.60
2.06	4.22	6.09	1.93	0.39	2.24	2.44	99.30	72.45	13.38	4.24	24.06	27.95	0.70
4.52	6.73	5.74	1.09	0.75	2.94	2.58	99.64	55.35	23.14	7.52	15.95	35.59	0.62
t 1.37	2.63	4.05	3.88	0.28	1.62	2.47	100.61	79.55	10.59	2.72	48.92	27.40	0.40
2.31	4.96	5.32	2.10	0.27	0.93	0.21	99.78	68.8	16.99	2.76	28.30	37.43	0.19
1.84	3.58	4.05	3.42	0.22	0.69	0.12	99.67	74.64	14.08	2.40	45.78	32.91	0.40
2.00	3.76	4.15	3.50	0.19	0.78	0.24	100.02	74.04	14.58	2.59	45.75	33.00	0.43
1.92	3.67	4.10	3.46	0.21	0.74	0.18	99.84	75.1	15.23	2.58	40.02	34.51	0.42
0.13	0.48	3.29	6.12	0.01	0.32	0.06	100.19	97.1	1.24	2.65	65.03	12.26	0.56
3.72	6.85	4.55	1.94	0.45	0.81	0.71	99.18	52.81	20.27	3.87	29.89	31.36	0.43
1.25	2.41	3.59	3.63	0.12	0.52	0.15	98.97	79.99	10.80	1.96	50.27	28.73	0.31
1.65	3.00	3.83	3.52	0.20	0.90	0.51	99.71	76.44	12.98	2.24	47.89	30.78	0.40
1.16	2.56	3.90	3.15	0.18	1.98	1.30	100.11	78.21	10.33	2.05	44.68	27.8!	0.19
8.38	10.21	2.84	1.08	0.237	1.81	其他 0.053	99.76	31.02	41.38	2.88	27.55	51.31	0.53
16.08	6.11	2.31	1.17	0.204	3.16	其他 0.141	99.55	27.47	40.40	2.45	29.04	51.65	0.39



图三-18 侵入岩主要氧化物频率分布直方图

本区侵入岩 SiO_2 含量的变化范围为40.76—76.41%，按化学分类标准，包括了从超基性—超酸性的各类侵入岩。 SiO_2 含量最低者是蒋王庙岩体的橄榄辉长岩和辉石岩，其 SiO_2 含量小于45%，已属超基性岩的范畴。 SiO_2 含量最高者为碱长花岗岩(东林场和雷巷岩体)， SiO_2 含量均大于75%，属超酸性岩的范畴*

各期次侵入岩 SiO_2 的平均含量特征如下：燕山早期的蒋王庙岩体因其结晶分异良好，各类岩石 SiO_2 含量有连续过渡的现象，根据各类岩石分布面积加权平均，该岩体平均含量为51.69%；燕山晚期各次侵入岩 SiO_2 含量的算术平均值：第一次的(石英)闪长玢岩为60.42%；第二次的花岗闪长岩、二长花岗岩为66.72%；第三次的碱长花岗岩为75.46%。由此反映出，随着时间由早到晚的推移，本区侵入岩的酸度几乎呈等差递增。

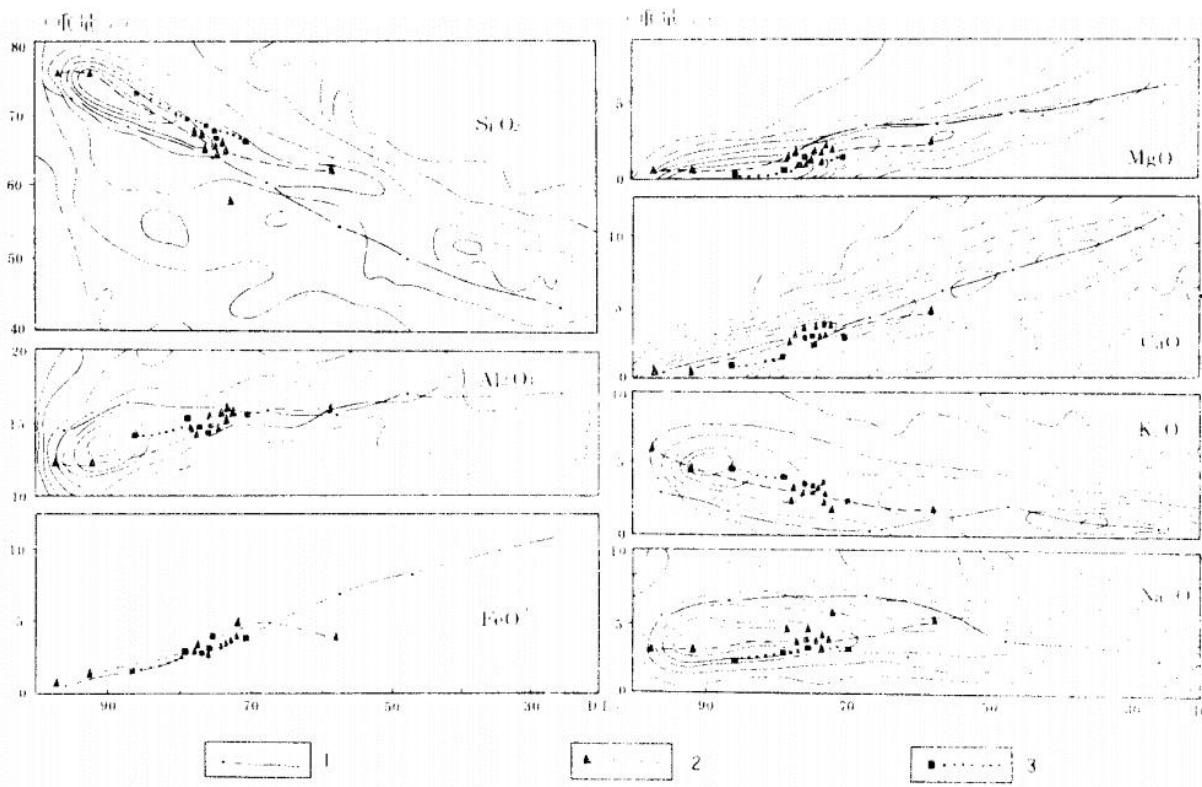
岩石酸度的标准矿物Q值和查氏Q值，也有上述递变的趋势：燕山早期基性岩类和深源捕虏块体的辉石闪长(玢)岩的查氏Q值为负值，标准矿物中出现橄榄石和霞石，说明硅酸不饱和；燕山晚期各类岩石均属硅酸饱和岩石，Q值依次递增。

在分异指数(DI)- SiO_2 相关图上，燕山早期的各类岩石的投影点均在桑顿一塔特尔(1960)频率曲线的峰值线之下(图III-19)，说明 SiO_2 含量低于世界同类岩石的平均值；燕山晚期各类岩石的投影点：西区偏低，中区基本上落在峰值区，东区偏高，说明由西向东侵入岩的酸度增高

2. 碱性组分

反映岩石碱性程度的化学组分是 Na_2O 和 K_2O 及其总量。在查氏a值和S值相关图上(图III-20)，本区侵入岩的投影点全部落在戴里标准曲线之上，说明全碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)含量普遍高于同酸度岩石的戴里值，一般高1%左右，其林门杂岩体和新桥杂岩体尤为突出，

* 江苏地质局实验室(1977)《火成岩的分类与命名》

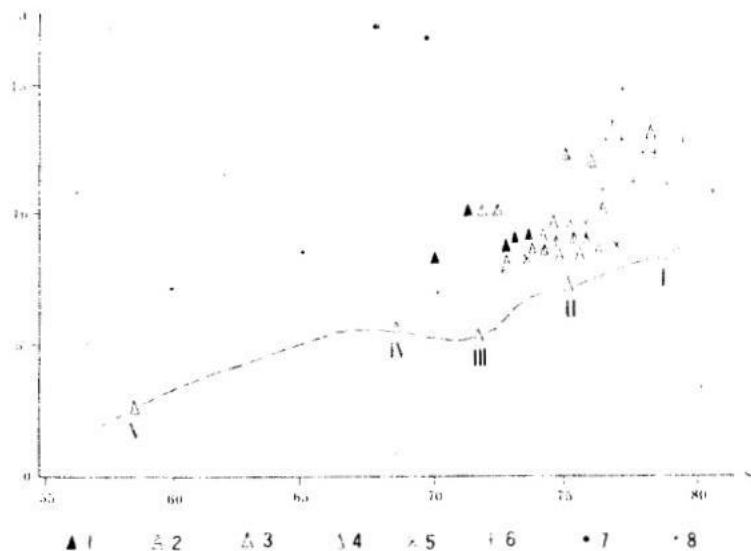


图三-19 侵入岩化学成分与分异指数(DI)相关图

1. 西区投影点及演化线: 2. 中区投影点及演化线: 3. 东区投影点及演化线

高于戴里值约2%左右: 因此, 富含碱值是本区侵入岩的特点之一。

K_2O/Na_2O 比值, 燕山早期侵入岩为0.84; 燕山晚期第一次侵入岩为0.24; 第二次为0.69; 第三次为1.19。按地区看, 西区 Na_2O 的投影点在桑顿—塔特尔频率曲线极密脊线之上(图III-19), K_2O 投影点在峰值区之下, 二者呈明显的对照: 中区 Na_2O 和 K_2O 的投影点多数在峰值区内: 东区 Na_2O 偏低, K_2O 偏高。综上所述, 时间上由早至晚, 空间上由西至东, 均表现为由富钠贫钾逐步转变为富钾贫钠。各杂岩体钙碱指数由西向东(板仓52.8、其林门52.2、安基山57.5、高资57.5、石马58.2, 谏壁59.2)



图三-20 岩浆岩as相关图

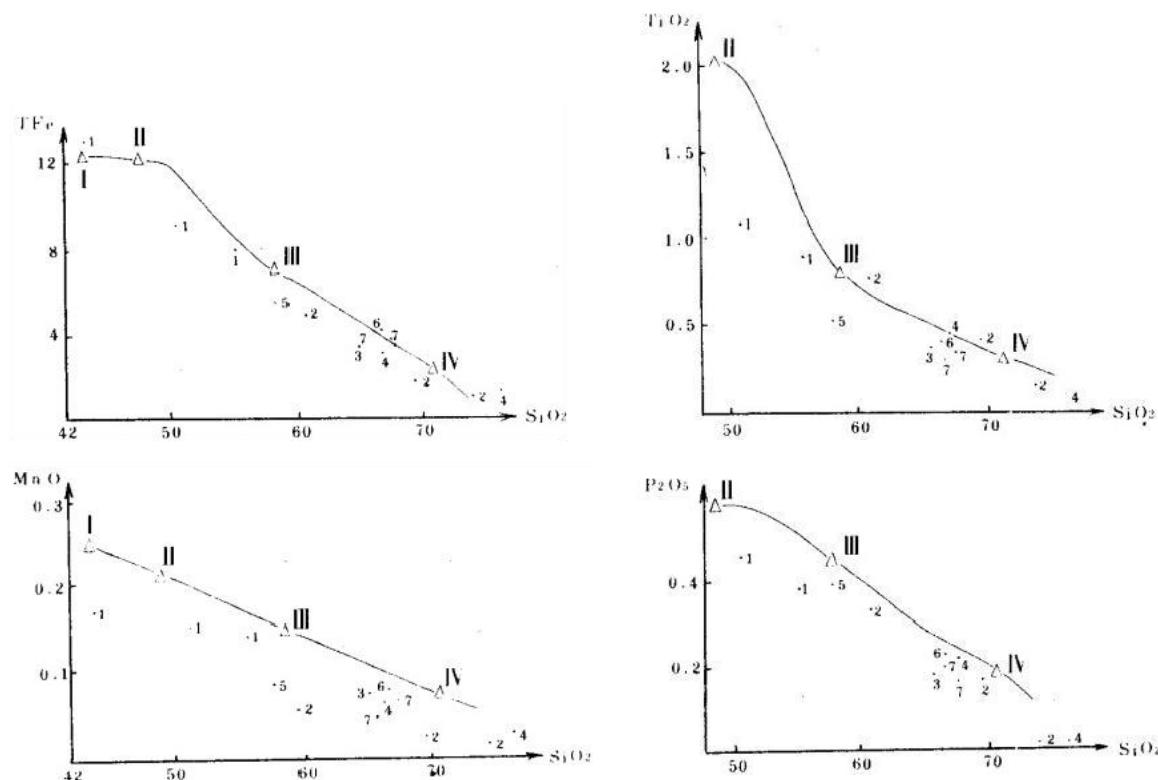
1. 火山岩: 2. 石马杂岩体: 3. 高资杂岩体: 4. 谏壁杂岩体: 5. 安基山杂岩体: 6. 其林门杂岩体: 7. 新桥杂岩体: 8. 板仓杂岩体: 虚线表示戴里有关岩石标准曲线:

I. 花岗岩: II. 花岗闪长岩: m. 石英闪长岩: VI. 闪长岩: V. 辉长岩

呈逐步增长的趋势，由西区的碱钙性岩系，转变为中区和东区的钙碱性岩系。

3. 基性组分

基性组分包括： TiO_2 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 等，这些组分在本区侵入岩中有共同的分布特征和演化趋势。在基性组分与 SiO_2 的相关图上(图III-21)，各岩体的投影点，大部分落在黎形(1962)标准曲线之下，反映本区侵入岩基性组分贫乏的特点。需指出，燕山早期的超基性岩中相对富含 Fe 、 Ti 、 Mn 、 P 等基性组分，说明原始岩浆属铁质系列，但在其演化过程中，铁质迅速贫化。 Ca 、 Mg 与 Fe 相似，基本上保持稳步下降的趋势，三者的演化线近于平行，同步下降，所以，它们之间的比值基本上是一个常数。



图三-21 基性组分与 SiO_2 相关图

1. 板仓杂岩体；2. 其林门杂岩体；3. 安基山杂岩体；4. 高资杂岩体；5. 新桥杂岩体；6. 石马杂岩

体；7. 谙壁杂岩体；I、II、III、IV为黎形的超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩；△为标准演化线

各期次侵入岩的查氏b值是：燕山早期为22.77；燕山晚期第一次为11.48；第二次为6.86，第三次为1.77，表明随着时间的推移，岩浆的基性程度逐步降低。

在分异趋势图上(图III-19)，西、中、东三区侵入岩 Ca 、 Fe 、 Mg 的演化线分别由上而下排列，说明在同等分异程度的情况下，由西至东，侵入岩的基性组分逐步降低。

4. 挥发组分

挥发组分主要指 H_2O^+ 和 CO_2

H_2O^+ 含量通常与岩石中含结晶水矿物(如角闪石、黑云母)的多寡有关，本区以中性岩类含量最高，为0.9—2.24%；其次为中酸性岩类和基性岩类，含量一般为0.5—1.8%；酸性岩类含量最低，为0.3—0.8%。 H_2O^+ 含量还与岩相有一定关系，如中酸性岩类 H_2O^+ 含量：火山岩平均为1.87%，次火山岩为1.82%，脉岩为1.78%，浅成相的安基山杂岩体

为1.66%，中深成相的下蜀、徐湾岩体为0.64—1.17%，可见H₂O含量随岩浆岩形成的深度而减少。

CO₂的含量变化也具有上述特征，以浅成相的新桥杂岩体含量最高，达2.5%，浅成相的安基山杂岩体为1.6%左右，中深成相的下蜀、徐湾岩体分别为0.52%和0.18%。

上述H₂O⁺和CO₂的分布特征，在同一岩体的不同部位也不一样，如新桥村北的花岗闪长斑岩，内部相的H₂O⁺和CO₂含量分别为1.62%和2.47%，冷凝边的H₂O⁺和CO₂含量分别为2.61%和4.8%。表明挥发组分有向岩体顶部和边缘富集的趋势。

5.造岩氧化物之间的相关性

造岩氧化物在岩浆演化过程中分离聚集的关系，可以用R型因子分析成果直观地表达出来，从表III-20中可知，各变量的公因子方差(h_i)均在89%以上，表中六个因子的方差总贡献(λ_i)达94.54%，表明这六个因子已包含了原始数据中绝大部分信息，其中F₁和F₂因子方差贡献最大，故本志选择这两个因子来说明各造岩元素的相关性。

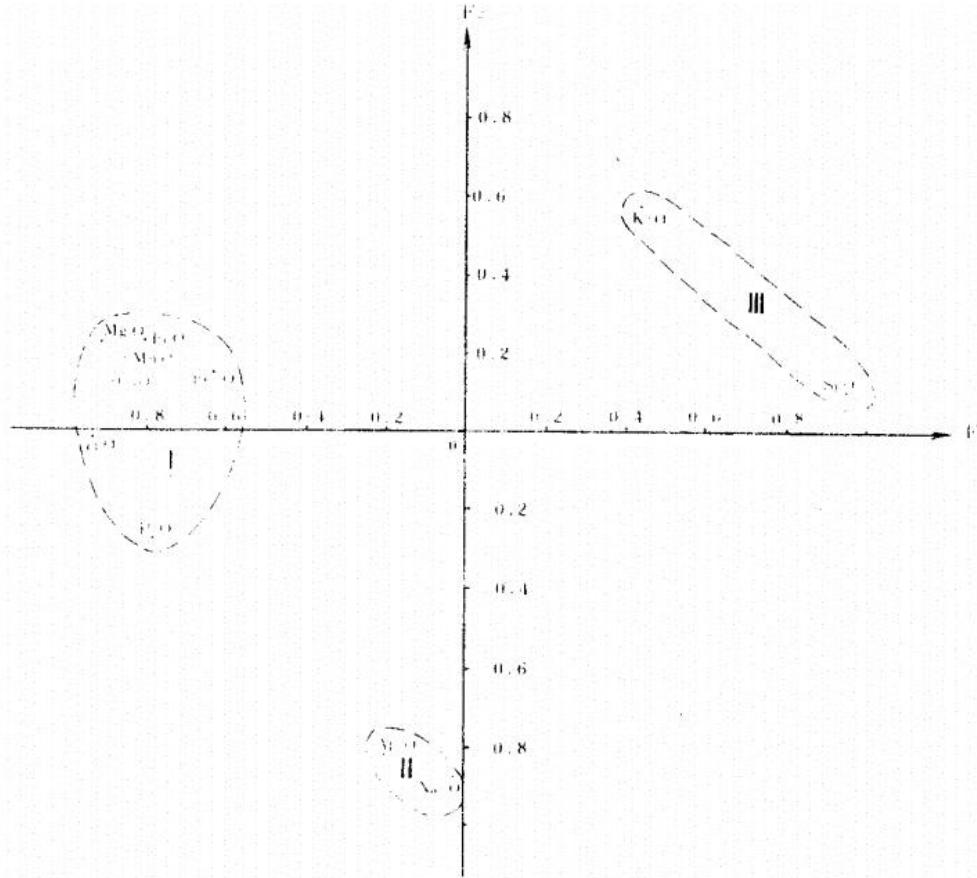
表 III-20 岩浆岩主因子解因子载荷矩阵

	F	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	h;2
SiO ₂	+0.958	+0.104	+0.035	+0.119	-0.013	+0.020	+0.941
TiO ₂	-0.940	-0.012	-0.086	+0.002	-0.048	+0.054	+0.89
Al ₂ O ₃	-0.204	-0.823	-0.158	-0.405	-0.159	+0.226	+0.98
Fe ₂ O ₃	-0.632	+0.154	-0.677	+0.290	+0.102	+0.017	+0.97
FeO	-0.809	+0.229	+0.447	-0.205	-0.025	+0.035	+0.950
MnO	-0.853	+0.186	+0.002	-0.105	+0.271	+0.246	+0.907
MgO	-0.916	+0.227	+0.169	+0.125	+0.087	+0.025	+0.944
CaO	-0.887	+0.132	+0.204	+0.077	-0.137	-0.188	+0.906
Na ₂ O	-0.021	-0.877	+0.190	+0.089	+0.393	-0.156	+0.993
K ₂ O	+0.439	+0.578	-0.178	-0.600	+0.214	-0.123	+0.980
P ₂ O ₅	-0.790	-0.273	-0.260	-0.23	-0.105	-0.296	+0.919
λ_i	+6.070	+2.045	+0.896	+0.758	+0.350	+0.280	+10.399
累计%	55.18	73.78	81.92.	88.81	92.00	94.54	

在F₁和F₂相关图上(图III-22)，造岩氧化物分三群，第I群有MgO、TiO₂、CaO、MnO、FeO、P₂O₅、Fe₂O₃，属于亲基性岩浆元素，分布于F₁的负轴方向；第III群有SiO₂、K₂O，属酸性岩浆元素，分布于F₁和F₂的正轴方向；第II群有Al₂O₃和Na₂O，分布于F₂的负轴方向，在F₁上的因子载荷也为负值，其投影点的位置在第I群和第III群之间，属过渡性元素。第I群和第III群是对立的两种组分，在岩浆演化过程中呈反消长关系。第II群介于上述二者之间，略偏向于第I群，即在中性偏基性的岩石中达到最大值。在F₂因子中K₂O和Na₂O分别是正、负载荷的端元组分，说明两者在演化过程中为反消长关系。

(二) 微量元素的地球化学特征

微量元素样品系江苏省调大队在1:5万地质调查中系统采集的，大部分样品由江苏地矿



图三-22 侵入岩造岩氧化物R型因子相关图

局中心实验室采用加罩电极光谱定量法测定，经检验，大部分元素分析数据合格率达95%以上，其中有V、Ti、Sr、Zn、Ge、Pb、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Mo等，其余元素分析数据合格率较低；部分样品由区调大队实验室采用光谱半定量分析·其中Cu、Pb、Cr的分析数据合格率达95%，其他元素分析数据质量较差。

1. 分布类型

根据317个未蚀变的侵入岩样品光谱定量分析资料，编制了微量元素的频率分布直方图*(图III-23)。Ti、V、Zr、Cr、Sr、Sn、Ge等元素接近算术正态分布；Cu、Pb、Ni、Bi、Mn等元素接近对数正态分布；其他元素(如Ba、Mo等)可能由于缺乏足够的分析灵敏度直方图上起始组的频率超过20%，无法判断其分布类型。因多数元素为算术正态分布，为了便于对比，本志一律用算术平均值来表达各类岩石的微量元素丰度。

2. 微量元素丰度和分布状况

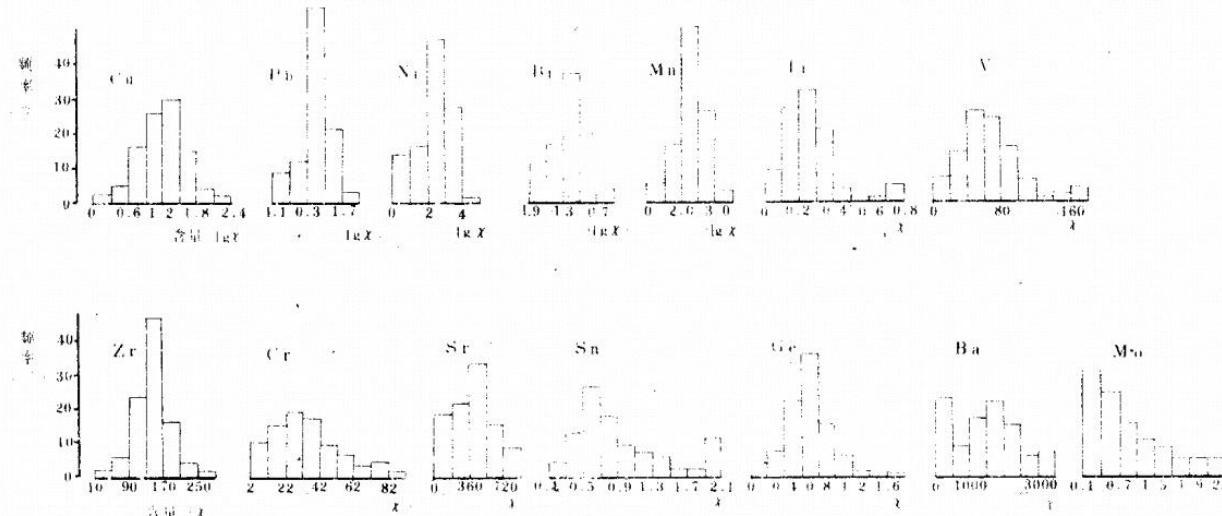
表III-21综合地反映了本区侵入岩的微量元素丰度和分布状况。

(1) 亲铁元素⁽¹⁶⁷⁾：其总体特点是含量低，衬值小，属贫化元素。局部偏高者有：①板仓杂岩体V含量为220—292ppm，富集系数1.1—2.45；Co的最高含量为52.2ppm(橄榄辉长岩)，富集系数1.16。②解放桥岩体橄榄角闪辉长岩中的Ni和Cr，分别为220和331ppm.富集系数为1.38和1.66。

本区侵入岩中Cr的地球化学行为不正常，中酸性岩体(如尖山、安基山、中大河、东林场、丹徒镇等岩体)的Cr含量为78—151ppm，富集系数3.08—5.24，超过了蒋王庙基性岩的Cr含量(53—72ppm)。

删除[miao Gu]: <sp>

• 江苏区调大队，1983年资料



图三-23 侵入岩中微量元素频率分布直方图

亲铁元素的变化系数很小，大部分为0.2—0.5，表明这些元素在岩体中的分布是比较均匀的。

(2) 亲铜元素：其赋存状况差异较大，下面着重指出各元素富集的岩体和地段。

①Cu：有两个高含量阶段，其一是在燕山早期中一基性侵入岩阶段，平均含量为67.5ppm. 平均富集系数1.11，但其平均变化系数仅为0.37，说明是以分散形式分布的；第二个是在燕山晚期中酸性侵入岩阶段，其中以尖山岩体和安基山岩体最突出，尖山岩体含量为79ppm，在同类岩石中居首位，富集系数3.03，变化系数1.13，这三项指数均说明该岩体具有成矿岩体的特征。安基山岩体各类岩石的含铜量均很高，花岗闪长斑岩为199ppm，富集系数为7.64；石英闪长斑岩为48ppm，富集系数1.85，是本区范围广、丰度高的含铜岩体。此外，丹徒镇岩体的西段、中段及范巷岩体含铜量也很高，分别为32.08、30.73和35.3ppm。陶奎元在研究长江中下游侵入岩的含矿性时指出：中酸性侵入岩铜的含量>30—35ppm，可以作为评价岩体含铜性的地球化学标志*，因此，尖山、安基山、丹徒镇和范巷岩体均为含铜性较好的岩体。

②Mo：含量较高的岩体和地段有：大港岩体，含量7.2ppm，富集系数为6.04，变化系数为1.26；安基山岩体的花岗闪长岩相带，含量4.1ppm。富集系数3.44，变化系数0.93，是已知的安基山矿区钼矿化迭加的结果，同时，安基山岩体的石英闪长斑岩相带，也富含Mo，其含量为1.56ppm，富集系数1.31，变化系数2.08，具有面积广，丰度高，变化系数大的特点，是重要的钼矿化岩体；中大河岩体，含量2.95ppm. 富集系数3.28，是中性岩类含钼最高的岩体，而且，变化系数较大，为1.16，说明有富集成矿的可能性；尖山岩体，含量2.06ppm，富集系数1.73，该岩体Cu、Zn等成矿元素的含量都很高，是一个综合性的富含多金属的岩体；条状山岩体，含量1.14ppm. 富集系数1.27，变化系数1.04，已发现有太阳山铜钼矿点：解放桥岩体，平均含量3.4ppm，富集系数2.43，但较分散。

③Pb：其含量由西到东有逐渐增高的趋势，西区岩体的富集系数均小于1，而且绝大多数小于0.3，属典型贫化元素；东区岩体的富集系数普遍大于1，其中丹徒镇岩体西段的花岗闪长岩富集系数为2.2，说明东区岩体中的铅元素属富集元素；中区岩体铅元素富集系数介于两

| 删掉[miao Gu]: 铝

* 陶奎元，1977年资料

表三-21 侵入岩微量元素特征值

杂岩体	岩体	岩石名称	样品数	特征值	Ti	V	Ni	Co	Cr	Mn	Ba
板仓	蒋王庙	橄榄辉长岩	4	X*	6700	292	71.5	52.2	72.97	1919	288
				Cv	0.24	0.23	0.47	0.35	0.47	0.34	0.35
				FX	0.74	1.47	0.45	1.16	0.36	0.96	0.96
		辉长岩	5	X	5117	219.5	21.77	23.9	53.57	1023	763
				Cv	0.23	0.23	0.37	0.26	0.38	0.26	0.23
				FX	0.57	1.10	0.14	0.53	0.27	0.51	2.6
		闪长岩	3	X	3839	245	35.34	11.6	75.76	392	662
				Cy	0.47	1.11	0.93	0.79	0.46	0.72	0.88
				FX	0.48	2.45	0.64	1.16	1.52	0.33	1.02
		尖山	5	X	5093	157	17.48	14.32	115	803	1148
				Cv	0.28	0.29	0.11	0.26	0.51	0.37	0.44
				FX	1.35	1.79	1.18	2.05	5.24		2.55
北林门	其林铺	(石英)闪长玢岩	2	X	4200	198	16	10	49	173	300
				Cv	0.25	0, 05	4.08	0.12	0.52	0.28	0.21
				FX	0.53	1.97	0.29	0.98	0.98	0.14	0.46
	白鹅山	花岗闪长斑岩	27	X	1500	50	3	2	36	63	332
				Cv	0.33	0.70	0.63	0.92	0.81	1.27	0.97
				FX	0.40	0.57	0.18	0.26	1.61	0.09	0.73
	牛头山	碱长花岗斑岩	10	X	600	12	3	2	46	173	1732
				C	0.88	1.04	0.56	0.87	1.01	0.66	0.25
				FX	0.26	0.30	0.34	0.40	1.86	0.29	2.09
安基山		石英闪长斑岩	81	X	2600	75	J5.58	8.38	103	274	2972
				Cv	0.24	0.25	0.43	0.43	0.40	0.44	0.56
				FX	0.64	0.85	1.04	1.20	4.68		6.61
		花岗闪长斑岩	3	X	3189	57.08	11.82	5.26	71.58	144	1194
				Cv	0.17	0.11	0.43	0.49	0.82	0.68	0.39
				FX	0.84	0.63	0.79	0.75	3.25		2.65
高资	下蜀	花岗闪长岩	42	X	1900	68	16.73	9.55	34.35	289	1241
				Cv	0.48	0.30	0.40	0.38	1.06	0.38	0.52
				FX	0.50	0.78	1.12	1.36	1.56	0.41	2.74
	雷巷	细粒花岗岩	13	X	1000	3.84	2.59	1.42	7.0	133	245
				Cv	1.30	0.98	0.67	0.84	1.03	0.53	0.73
				FX	0.43	0.10	0.32	0.28	0.28	0.22	0.30

*X——算术平均值(ppm); Cv——变化系数; FX—富集系数: 为算术平均值与同类岩石的维诺格拉多

夫值(1962)或别乌斯值(1975)之比

Sr	In (Be)	Ge (Ga)	Sn	As	Sb	Ag	Mo	Cu	Zn	Pb	Cd	Zr	Bi (P)
502	0.06	0.28	0.79	1.50	0.20		1.06	91.5	103	2.30	0.05	36.87	0.03
0.53	0.44	0.50	0.21	0	0		0.50	0.19	0.21	0.74	0	0.56	0.71
1.14	0.27	0.19	0.53	0.75	0.20		0.76	0.92	0.79	0.29	0.26	0.37	4.29
593	0.03	0.51	0.94	1.50	0.20	0.03	0.86	40.75	68.05	4.56	0.05	129	0.07
0.09	0.04	0.22	0.29 [~]	0	0	0.50	0.60	0.25	0.31	0.95	0	0.60	0.74
1.35	0.13	0.34	0.63	0.75	0.20	0.30	0.61	0.41	0.52	0.57	0.26	1.29	10.0
472	0.03	0.57	0.53	2.94	0.54		0.65	70.24	35.57	4.42		45.66	
0.48	0.55	0.24	0.45	0.95	0.61		0.47	0.67	0.54	0.22		0.56	
0.59		0.38		1.23	2.70		0.72	2.01	0.49	0.29		0.56	
415	0.03	0.57	1.11	2.62	0.88		2.06	79.0	63.52	14.86		202	
0.23	0.45	0.35	0.69	0.85	0.63		0.38	1.13	0.4	0.40		0.40	
0.94			0.77	1.38			1.73	3.03	1.14	0.99			
296	0.02	0.59	0.70	2.70	0.20	0.03	0.80	15	53	2.4	0.12	102	
0.04	0	0.88	0.44	0.63	0	0	0.23	0.51	0.04	0.24	0.80	0.04	
0.37		0.18		1.13	1.00	0.43	0.88	0.44	0.13	0.16		0.39	
62	0.01	07	0.61	1.82	0.2	0.02	0.5	11	10	2	0.05	127	
0.82	0	0.31	0.91	0.50	0	1.15	1.01	0.95	1.62	2.86	0	0.15	
0.36			0.24	0.99		0.40	0.39	0.43	0.17	0.12			
77	0.01	0.87	0.80	1.50	0.52	0.02	0.23	11	5	2	0.05	82	
0.76	0	0.18	0.22	0	0.47	0	0	0.69	0.82	0.88	0	0.34	
0.59	0.04	0.62	0.27	1.00	2.00	0.40	0.23	0.56	0.08	0.10	0.50	0.41	
564	0.02	0.89	0.88	3.23	020	0.06	1.56	48.34	99.55	15.01	0.27	143	
0.42	0.35	0.55	0.52	0.51	0	1.49	2.08	0.91	0.97	1.25	1.30	0.12	
1.28			0.35	1.70		1.20	1.3	1.85	1.79	1.00			
404	0.03	0.77	0.44	2.46	0.43		4.10	199	51.56	864	0.08	156	
0.45	0.4	0.37	0.37	0.63	0.69		0.93	0.93	0.80	0.36	0.56	0.10	
0.92			0.39	1.30			3.44	7.64	0.93	0.57			
34	0.02	0.7	1.71	1.92	0.22	0.02	0.60	18.6	48.06	9.08	0.06	181	
0.36	1.20	0.29	0.97	0.56	0.29	0.84	0.51	0.69	0.86	1.32	0.61	0.25	
0.99			0.68	1.01		0.40	0.50	0.71	0.86	0.60			
39.82	0.01	0.90	1.26	1.72	0.24	0.01	0.23	13.79	8.81	11.52	0.05	61.06	
0.68	0	0.27	1.20	0.47	0.41	0	0	1.37	0.90	0.19	0	0.18	
0.13	0.04	0.64	0.42	1.17	0.92	0.20	0.23	0.69	0.15	0.58	0.50	0.31	

侵入岩微量

杂岩体	岩体	岩石名称	样品数	特征值	Ti	V	Ni	Co	Cr	Mn	Ba
新桥	中大河	(石英)闪长玢岩	7	X	3125	72.8	35.89	1.76	151	534	1532
				Cv	0.40	0.39	0.44	0.37	0.36	0.61	0.45
				FX	0.39	0.73	0.65	1.18	3.02	0.45	2.36
	范巷	花岗闪长斑岩	3	X	3100	63.73	20.36	7.90	15.93	485	1405
				Cv	0.23	0.06	0.19	0.20	0.43	0.18	0.47
				FX	0.82	0.72	1.37	1.13	0.72		3.12
石马	条状山	(石英)闪长玢岩	17	X	3100	104	22.94	11.39	29.31	413	1848
				Cy	.38	0.40	0.61	0.30	0.38	0.83	0.26
				FX	0.39	1.04	0.42	1.14	0.59	0.34	2.84
	徐湾	花岗闪长岩	65	X	2900	60.53	17.27	7.97	36.58	266	1778
				Cv	0.21	0.30	0.30	0.35	0.27	0.35	0.31
				FX	0.77	0.69	1.15	1.31	1.46	0.38	3.95
	东林场	碱长花岗岩	7	X	521	4.14	4.46	2.84	93.9	14	502
				Cv	0.16	0.24	0.17	0.08	0.48	0.16	0.39
				FX	0.23	0.10	0.56	0.57	3.76	0.19	0.60
谏壁	丹徒镇	九华山地段 花岗闪长器	8	X	2500	44.96	10.04	6.23	30.98	253	2765
				Cy	0.29	0.40	0.51	0.35	0.29	0.51	0.70
				FX	0.66	0.51	0.67	0.89	1.41	0.36	6.15
		(横山粮山地段长 花岗岩	7	X	2982	49.1	15.64	4.68	78.27	600	2254
				Cv	0.54	0.55	0.55	0.52	0.94	0.84	0.72
				FX	0.79	0.56	1.05	0.67	3.56		5.00
	大港	石英闪长斑岩	5	X	2700	86.0	22.0	4.8	48.0	640	940
				Cy	0.15	0.68	0.51	0.55	0.76	0.47	0.25
				FX	0.71	0.98	1.48	0.69	2.18		2.09
	南H	花岗闪长斑岩	3	X	2833	60	6.33	7.67	21.67		1700
				Cv	0.50	0.49	0.15	0.(6	0.22		0.08
				FX	0.75	, h8	0.43	1.10	0.99		3.77
解放桥		角闪辉长辉绿岩	100	×	4152	107	82	24	138	733	1193
				Cy	0.31	0.20	0.32	0.26	0.22	0.16	0.15
				FX	0.46	0.53	0.52	0.52	0.69		3.98
		橄榄角闪二长辉长岩	36	X	2139	63	22	4i	331	996	1043
				(v	0.38	0.52	0.08	0.20	0.13	0.08	0.38
				FX	0.24	0.31	1.38	0.91	1.66		3.48

:有八记号者为半定量光谱分析成果，余者为定量光谱分析成果

元素特征值

续表III • 21

Sr	In (Be)	Ge (Ga)	Sn	As	Sh	Ag	Mo	Cu	Zn	Pb	Cd	Zr	Bi (P)
521	0.02	0.58	0.44	3.05	(50)		2.95	24.96	63.53	10.53	0.18	169	
0.36	0.44	0.24	0.58	0.83	0.38		1.10	0.51	0.38	0.23	0.48	1.14	
0.65		0.39		1.27	2.95		3.28	7	0.88	0.70		0.65	
286	0.02	0.58	0.72	7.43	1.16		1.22	35.	74.2	13.73	0.16	178	
0.69	0.51	0.16	0.48	0.24	0.25		0.58	0.15	0.1	0.57	0.3	0.03	
0.65			0.63	3.91			1.02	1.35	1.33	0.91			
795	0.01	0.65	0.70	17.57	0.43	0.0	1.14	18.57	35.19	5.44	0.14	146	
0.23	0	0.26	0.79	1.64	0.36	0.99	4.	0.59	0.73	0.48	0.5	0.10	
0.99		0.43		7.32	1.00	0.1	1.27	0.53	0.49	1.00		0.56	
415	0.02	0.58	1.06	2.82	0.23	0.03	1.06	13.34	39.03	8.50	0.07	161	
0.20	0.65	0.49	1.1	0.62	0.47	1.00	0.72	0.61	0.68	1.18	1.02	0.20	
0.94			0.42	1.49		0.60	0.89	0.51	0.70	0.53			
159	0.02	0.44	0.64	13.89	0.98		1.07	I1.4	18.4	13.7	0.08	74.73	
0.55	0.31	0.07	0.37	0.63	0.22		0.52	0.42	0.15	0.32	0.50	0.29	
0.53	0.07	0.3	0.21	9.26	.76		1.06	0.57	0.31	0.69	0.80	0.37	
391	0.02	0.65	2.2	6.23	0.20	0.07	0.54	32.08	62.92	33.3.	0.5	156	
0.28	1.08	0.33	1.14	0.74	0	1.72	0.46	C.56	0.88	1.25	80	0.15	
0.88			0.89	3.28		1.40	0.36	1.23	1.13	2.21			
404.5			0.77			0.086	1.09	30.73	24.55	15.45		192	
0.64			0.89			0.93	0.93	1.28	1.34	0.45		0.42	
0.92			0.67			1.69	0.91	1.18	0.44	1.03			
620			1.20				7.20	16.0	37.0	23.0		156	
0.55			0.50				1.26	0.61	0.8	0.26		0.53	
1.41							6.04	0.6b	06	1.53			
417			1.05	70		0.20	1.50	5.6	25	21.67			
0.15						0	0.72	1.36	0.28	0.29			
0.95					0.23		3.92	21	0.22	0.45	1.42		
6.88													
882	(1.08)	(12.20)	1.50				3	8.5	40	12		85	(1391)
0.16	(1.07)	(0.21)	0				0.43	0.31	0.21	0.76		0.39	(0.52)
2.00	(2.77)	(0.68)	1.0				2.61	0.85	0.31	1.49		0.85	(9.94)
632	(0.77)	(9.6)	4.64				3.1	60	38	10		76	(1011)
0.32	(0.37)	(0.22)	0.15				0.60	0.20	0.16	0.62		0.45	(0.43)
1.44	(1.93)	(0.53)	3.09				2.26	0.60	0.29	1.23		0.76	(7.22)

者之间, $F_x=0.6—1$ 。值得注意的是九华山的花岗闪长岩体铅元素具有含量高, 富集系数和变化系数均较大的特点, 是多金属矿化的有利地区。

④Zn: 具有含量低、变化小的特点, 除个别岩体外, 绝大多数岩体的富集系数小于或等于1, 其中50%以上岩体样品中锌元素的 $F_x\leq 0.5$; 80%以上岩体样品中锌元素的变(异)化系数 $Cv<1$, 安基山岩体中的石英闪长斑岩样品含Zn可达99.6ppm, 富集系数为1.79, 是区内样品中最高者。

⑤Ag: 以南吕岩体含量较高, 为0.2ppm, 富集系数3.92; 其次为丹徒镇岩体和安基山岩体, 含量在0.06—0.086PPm之间, 略大于同类岩体的克拉克值, 而且变化系数均很小, 不具备单独成矿的可能性。

⑥As: 多数富集于小岩体中, 如南吕岩体含As为70ppm, 富集系数37, 属高度富集的元素。此外, 较富的岩体有: 条状山岩体(17.5ppm), 东林场岩体(13.89ppm)、范巷岩体(7.43ppm)。

综上所述: 铜及亲铜元素形成综合异常的岩体有: 安基山杂岩体, 谙壁杂岩体和尖山岩体。安基山杂岩体以Cu、Zn为主, 谙壁杂岩体以Mo、Pb、Ag、As为主, 尖山岩体以Cu、Mo为主。

(3)亲石元素: 本志仅讨论Ba、Sr、Zr。

Ba在各岩体中的含量普遍偏高, 尤其是中区和东区的中酸性岩体更为突出, 其中以安基山岩体的石英闪长斑岩为最高, 含量达2972ppm, 富集系数为6.61, 其他中酸性岩体的含量均大于1000ppm, 是克拉克值的2—6倍。基性岩体含量也相当高, 如解放桥岩体为1043—1193ppm, 富集系数3.5—4; 蒋王庙岩体的辉长岩含量为763ppm, 富集系数为2.6。但本区酸性岩体的Ba含量却很低, 例如雷巷和东林场岩体分别为245和502ppm, 低于同类岩石的克拉克值。在正常情况下, Ba趋向于酸性岩富集, 而本区侵入岩中Ba的最大值却出现于中酸性岩阶段, 到酸性岩阶段则趋于贫化, 这是本区侵入岩中钡元素地球化学行为的反常表现。

Sr在基性岩类含量为502—882ppm, 中性岩类为300—795ppm, 中酸性岩类为162—564ppm, 酸性岩类为40—177ppm, 其含量由基性岩→酸性岩是逐步降低的。

Zr在各岩体中的含量均偏低, 富集系数小于1。其中以中酸性岩体含量最高, 为150—200ppm, 余者依次为中性岩类(102—150ppm), 基性岩类(37—129ppm)、酸性岩(75—82ppm)。

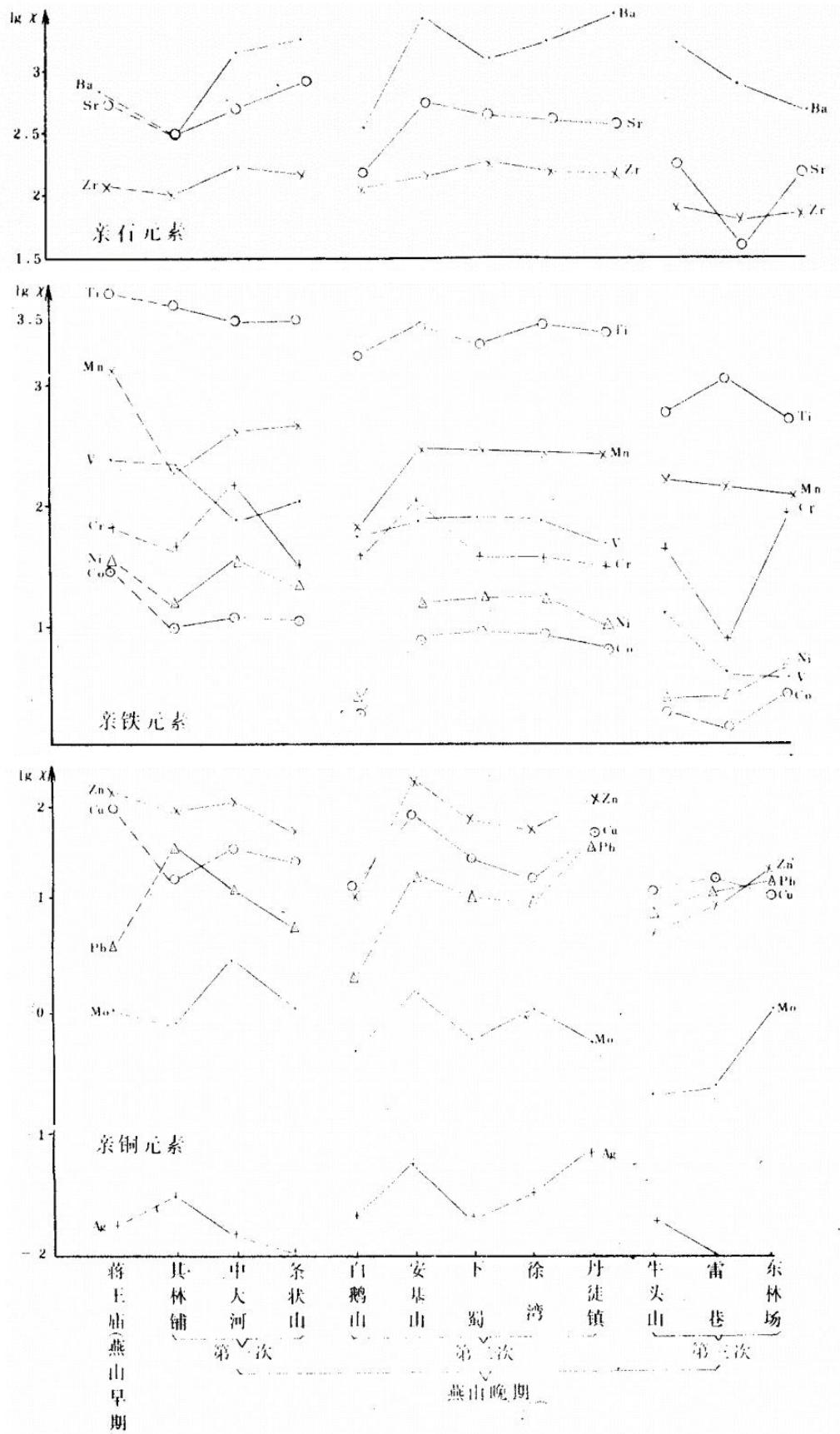
亲石元素的变化系数均很小, 多数 <0.5 , 说明该类元素在侵入岩中呈均匀状态分布。

上述各类元素在时间上的演化关系可参见图III-24。亲铁元素随时间的发展, 含量逐渐降低; 亲铜元素在燕山晚期第二次出现局部富集; 亲石元素的富集阶段也在燕山晚期第二次。这三类微量元素到燕山晚期第三次都趋于贫化。

3.微量元素之间的成生联系

区内侵入岩的光谱分析数据, 经部分电算处理, 现用R型因子分析成果来说明侵入岩中微量元素之间的成生联系(表III-22)。表中六个因子的方差贡献累计为60.79%, 说明已包含了原始数据中的大部分信息, 其中 F_1 、 F_2 、 F_3 是贡献最大的三个因子, 现着重讨论这三个因子。

在 F_1 与 F_2 因子关系图上(图III-25(A)), 将这些元素分为三群: 第I群有Co、V、

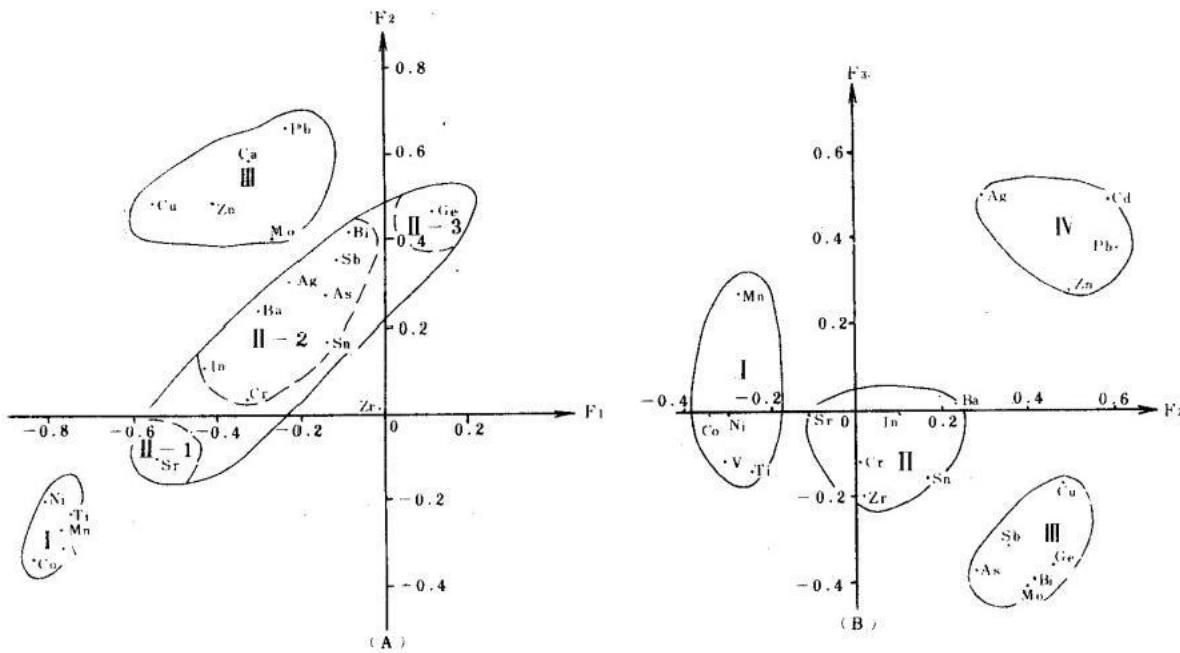


图三-24 各期次侵入岩微量元素丰度对比图

表三-22 微量元素主因子载荷及特征值

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Hi2
As	-0.150	0.274	-0.346	0.151	-0.604	0.000	0.605
Bi	-0.096	0.407	-0.401	-0.159	0.106	0.300	0.462
Cd	-0.322	0.589	0.492	0.109	-0.029	-0.102	0.715
Sb	-0.124	0.349	-0.320	0.114	-0.596	-0.248	0.010
Sn	-0.153	0.167	-0.161	0.013	0.001	0.761	0.657
In	-0.430	0.100	-0.065	-0.283	0.054	0.132	0.300
Ge	0.102	0.466	-0.371	-0.339	0.279	-0.325	0.664
Zn	-0.404	0.494	0.263	0.149	-0.203	-0.234	0.595
Pb	-0.231	0.616	0.364	0.001	0.080	0.014	0.571
Ba	-0.316	0.235	0.047	0.587	0.231	0.031	0.556
Sr	-0.541	-0.109	-0.086	0.438	0.263	-0.089	0.581
Mn	-0.168	-0.263	0.262	-0.265	-0.074	0.048	0.805
Cr	-0.328	0.029	-0.132	-0.008	0.535	-0.206	0.499
Ni	-0.806	-0.208	-0.033	0.017	-0.071	-0.066	0.746
Co	-0.843	-0.346	-0.002	-0.154	-0.066	0.063	0.862
Cu	-0.547	0.484	-0.174	-0.239	0.076	0.160	0.653
Zr	-0.094	0.003	-0.202	0.628	0.130	0.224	0.511
Mo	-0.275	0.411	-0.407	-0.071	0.215	-0.093	0.470
V	-0.760	-0.309	-0.120	-0.092	-0.036	-0.097	0.706
Ti	-0.748	-0.247	-0.141	0.085	-0.037	-0.057	0.660
Ag	-0.237	0.298	0.515	-0.145	-0.007	0.216	0.478
λ_i	4.613	2.578	1.628	1.414	1.364	1.170	12.766
%	21.97	12.28	7.75	6.73	6.49	5.57	
累计	21.97	34.24	41.99	46.73	55.22	60.79	

Mn、Ti、Ni等为亲超基性一基性岩浆元素：第二群可进一步分为三个小组，II-1中只有**Sr**，它在中性岩中达到最大值，II~2中有**Cr、Zn、Ba、Sn、Ag、As、Sb、Bi**等、多属亲中酸性岩浆元素和硫化矿床元素，其中**Cr**的地球化学行为表现反常，它应属亲超基性岩浆元素，而在本区却出现在中酸性岩浆元素组合中，III-3中只有**Ge**，为亲酸性岩浆元素。从I到II，反映了岩浆岩由基性至酸性微量元素组合的演化关系。第III群有**Cu、Zn、Mo、Cd、Pb**，为本区主要成矿元素，分布在F₂的正端，独立于岩浆阶段元素组合之外，表明它们的成生主要不是在岩浆阶段，而是在期后热液阶段，而且与第II群的II-2小组的元素分布于同一象限中，反映它们赋存的空间是一致的，即热液阶段的成矿元素迭加在中酸性岩之上。



图三-25 侵入岩微量元素因子分析相关图

在 F_2 与 F_3 因子相关图上，微量元素分为四群(图III-25(B))，I、III两群分别为基性和中一酸性岩浆元素组合，III和IV为热液期迭加的矿化元素组合，表明矿化作用可分为两个阶段，第一阶段主要为Mo、Cu矿化，第二阶段主要为Pb、Zn、Ag矿化。

(三) 稀土元素特征

侵入岩及火山岩的稀土元素由江苏地矿局实验室使用等离子光量计，离子交换分离富集法测定，相对标准偏差 $Rsd < \pm 5\%$ 。侵入岩的稀土元素分析成果及特征值列于表III-23。

(1) 稀土元素组成模式

稀土元素标准化计算采用泰勒(S.R.Taylor)和戈登(M.P.Gorton)(1977)的球粒陨石稀土值⁽²²⁹⁾。

从图III-26可知，本区各类侵入岩稀土元素组成模式基本相似，向右倾斜、曲线形态比较平滑，只有最晚期的碱长花岗岩类显示了较显著的负铕异常，曲线在图中的相对位置基本上是按由基性→中性岩→中酸性岩→酸性岩的序列依次降低的，说明各类侵入岩互相之间存在着内在联系和演化关系。

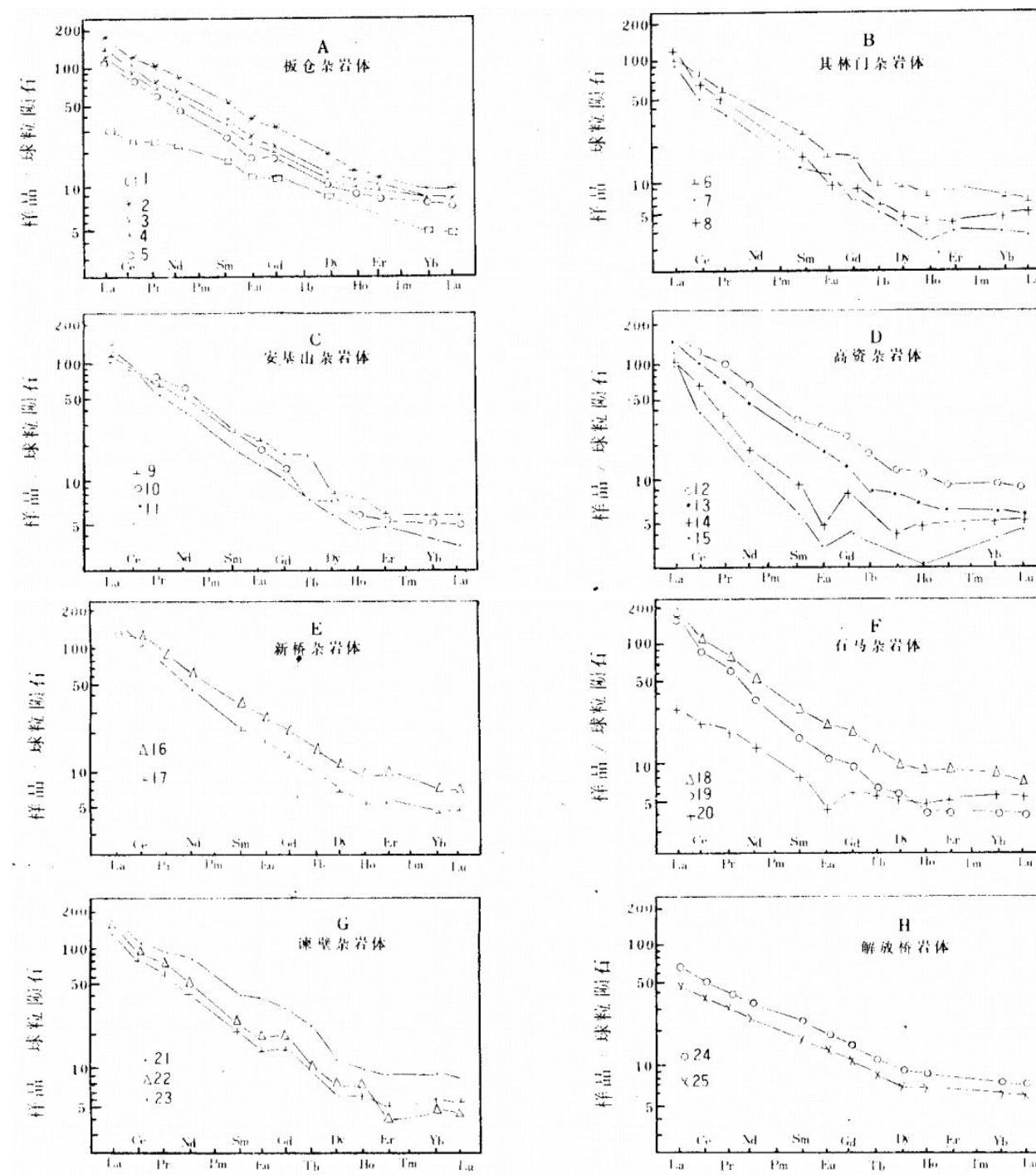
(2) 稀土元素总量

本区侵入岩稀土元素总量(ΣREE)变化幅度较大，为234—47ppm(表III-23)。随着时间的推移和岩石类型由基性向酸性演化，稀土元素总量基本上逐步降低，只有橄榄辉长岩例外(该岩石的 SiO_2 含量为40%，实属超基性岩类)。从表III-24中可知，本区侵入岩稀土元素总量与涂光炽等(1984)相应岩石的稀土元素丰度(下称涂氏值)相比，迥然不同，二者的演化趋势相反，即由基性岩至酸性岩的稀土元素总量：本区下降，涂氏值上升，但二者同类岩石稀土元素总量的比值(A:B)按由超基性→酸性的顺序递减，说明本区侵入岩的基性程度越高，稀土元素总量偏高的程度越大，而酸性岩类稀土元素总量偏低，不及涂氏值的一半。

表三-23 侵入岩稀上元素含量(ppm)及特征值

杂岩体名称	编号	元素 含量 岩石类型															ΣREE ΣHREE	δEu
			Ln	Ce	I' r	Nd	Sm	Eu	Gd	Th	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	ΣREE^*		
板仓	1	橄榄辉长岩	9.55	19.96	2.87	13.24	3.11	0.92	3.20	0.70	2.61	0.43	2.17	0.97	0.13	59.86	4.86	0.96
	2	角闪辉长岩	44.91	96.53	11.32	48.86	9.45	2.54	7.97	0.92	5.44	0.90	2.65	2.02	0.20	233.80	10.54	0.88
	3	辉长岩	37.92	16.29	8.32	34.04	6.52	1.74	5.67	0.72	4.1	0.76	2.46	1.93	0.29	180.85	10.29	0.86
	4	闪长岩	38.79	78.38	8.22	32.52	6.07	1.50	5.16	0.80	3.86	0.71	2.11	1.93	0.28	180.19	11.25	0.81
	5	石英闪长斑岩	36.00	61.29	7.13	26.10	4.80	1.31	4.56	0.98	3.32	0.71	1.78	1.72	0.25	149.90	10.24	0.95
其林门	6	(石英)闪长玢岩	29.52	56.43	6.39	26.30	4.98	1.28	4.31	0.48	3.14	0.58	1.809	1.53	0.23	137.06	10.28	0.83
	7	花岗闪长斑岩	27.50	47.67	4.53	16.59	2.56	0.7	2.00	0.10	1.41	0.24	0.88	0.82	0.13	105.07	17.60	1.00
	8	碱长花岗斑岩	35.72	54.60	5.41	18.59	3.01	0.76	2.53	0.32	1.97	0.37	1.08	1.13	0.18	125.65	15.61	0.83
安基山	9	(石英)闪长玢岩	39.69	66.83	7.42	20.85	4.69	1.51	4.00	0.74	2.57	0.53	1.12	1.15	0.17	157.33	14.22	1.02
	10	石英闪长斑岩	41.31	70.84	7.64	28.27	4.50	1.26	3.48	0.30	2.31	0.39	1.10	0.90	0.15	162.6	17.61	0.94
	11	花岗闪长斑岩	35.04	66.4	6.23	22.40	3.44	0.98	2.7	0.18	1.77	0.30	0.91	0.71	0.11	141.19	20.1	0.95
高资	12	石英闪长(斑)岩	55.42	94.50	11.04	38.52	6.70	1.92	5.54	1.08	3.91	0.82	1.87	1.82	0.26	223.31	13.68	0.99
	13	花岗闪长(斑)岩	50.80	82.57	8.35	29.26	4.58	1.19	3.6E	0.38	2.47	0.45	1.33	1.14	0.17	180.30	18.51	0.87
	14	细粒花岗岩	29.79	49.72	4.02	11.05	1.60	0.29	1.79	0.82	1.08	0.27	0.44	0.79	0.12	10.78	18.17	0.69
新桥	15	花岗细晶岩	23.88	33.92	2.91	8.56	1.16	0.21	0.92	0.32	0.76	0.14	0.45	0.67	0.12	74.03	20.82	0.59
	16	角闪闪长玢岩(包体)	49.05	88.40	9.83	38.69	6.75	1.95	5.68	0.72	4.24	0.77	2.35	1.84	0.27	210.55	12.25	0.95
	17	(石英)闪长玢岩	51.51	83.89	8.53	30.48	4.58	1.22	8.50	0.33	2.49	0.43	k.36	1.14	0.17	189.64	19.13	0.91
石马	18	角闪闪长玢岩(包体)	49.73	86.57	9.10	34.04	6.01	1.62	5.42	0.71	4.01	0.77	2.29	1.88	0.28	210.35	12.25	0.95
	19	斑状花岗闪长岩	48.61	73.78	6.98	23.16	3.58	0.94	2.93	0.30	2.12	0.38	1.10	0.99	0.15	105.02	19.21	0.87
	20	花岗斑岩	9.68	18.38	2.25	8.22	1.65	0.33	1.69	0.13	1.87	0.40	1.21	1.37	0.21	47.39	5.89	0.60
深壁	21	(石英)闪长玢岩	55.96	94.23	10.58	38.43	6.88	2.1!	5.86	1.08	4.38	0.89	2.01	2.00	0.8	224.69	12.62	0.99
	22	花岗闪长斑岩	47.34	77.64	0.89	26.16	4.22	1.09	3.98	0.52	2.64	0.59	0.94	1.33	0.19	174.54	16.11	0.93
	23	二长花岗岩	40.88	66.55	6.98	23.23	3.94	0.96	3.59	0.87	2.42	0.56	1.09	1.22	0.18	152.47	14.35	0.91
解放桥	24	角闪辉长辉绿岩	19.53	43.04	4.82	20.38	4.66	1.43	4.27	0.59	3.10	0.68	3.91	1.56	0.23	106.7	6.45	0.97
	25	橄榄角闪二辉辉长岩	14.80	29.85	3.66	14.85	3.36	0.99	3.06	0.44	2.28	0.52	2.62	1.25	0.20	77.94	6.54	0.94

ΣREE稀土元素: ΣLREE/ΣHREE轻、重稀上比值: δEu铕亏损值



图三-26 侵入岩稀土元素组成模式

1. 橄榄辉长岩；2. 角闪辉长岩；3. 辉长岩；4. 闪长岩；5. 石英闪长斑岩；6. (石英)闪长玢岩；7. 花岗闪长斑岩；8. 碱长花岗斑岩；9. (石英)闪长玢岩；10. 石英闪长斑岩；11. 花岗闪长斑岩；12. 石英闪长斑岩；13. 花岗闪长斑岩；14. 花岗岩；15. 花岗细晶岩；16. 角闪闪长玢岩(包体)；17. (石英)闪长玢岩；18. 角闪闪长玢岩(包体)；19. 花岗闪长斑岩；20. 花岗斑岩；21. (石英)闪长玢岩；22. 花岗闪长斑岩；23. 二长花岗岩；24. 角闪辉长辉绿岩；25. 橄榄角闪二辉辉长岩

稀土元素总量与CaO、P₂O₅有一定的相关性。除橄榄辉长岩等偏超基性的岩石外， \geq REE与CaO的回归方程为：ZREE(ppm)=103.80+13.93CaO(%)，相关系数为0.79。因Ca的离子半径(0.99A)介于镧系元素离子半径(1.14-0.85A)中间，在地球化学作用过程中可以互相取代，故二者有较为密切的相关性(图III-27)。

表三-24 侵入岩稀土元素总量平均值(ppm)与涂氏值对比

		超基性岩	基性岩	中性岩	中酸性岩	酸性岩	酸性脉岩
	本区侵入岩	59.86	207.5	187.75	162	113.5	60.71
B	涂氏值(174)	13.5	71.6	140.00		246	
	A: B	4.43	2.90	1.34		0.46	

Σ REE与P₂O₅的关系更为密切，区内各岩类，两者均为正相关，其回归方程为：

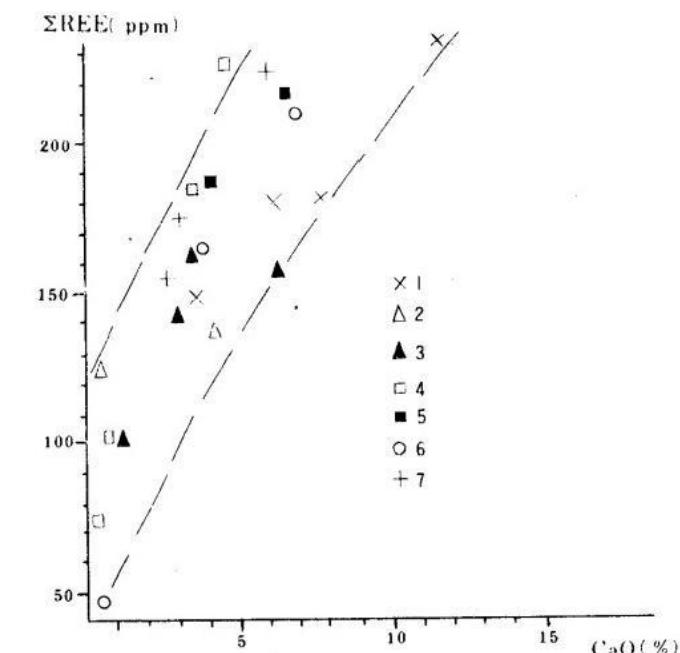
$$\Sigma\text{REE}(\text{ppm})=99.66+169.96\text{P}_2\text{O}_5(\%),$$

相关系数为0.72(图III-28)。

CaO和P₂O₅为磷灰石的主要成分，因而，磷灰石必然与稀土元素总量具有较好的相关性。根据人工重砂资料(表III-15)，本区各类侵入岩中，磷灰石含量与ΣREE相关图，投影点呈线性分布，表明二者确有良好的正相关性(图III-29)。

本区单矿物的稀土元素分析资料表明，磷灰石具有相当高的稀土元素含量(表III-25)。以单矿物中的稀土元素总量相比，磷灰石是角闪石的22倍，是辉石的50倍，是黑云母的130倍，说明磷灰石是稀土元素的重要载体。

根据化学分析资料，母岩(橄榄角



图三-27 侵入岩稀土元素总量与CaO相关图

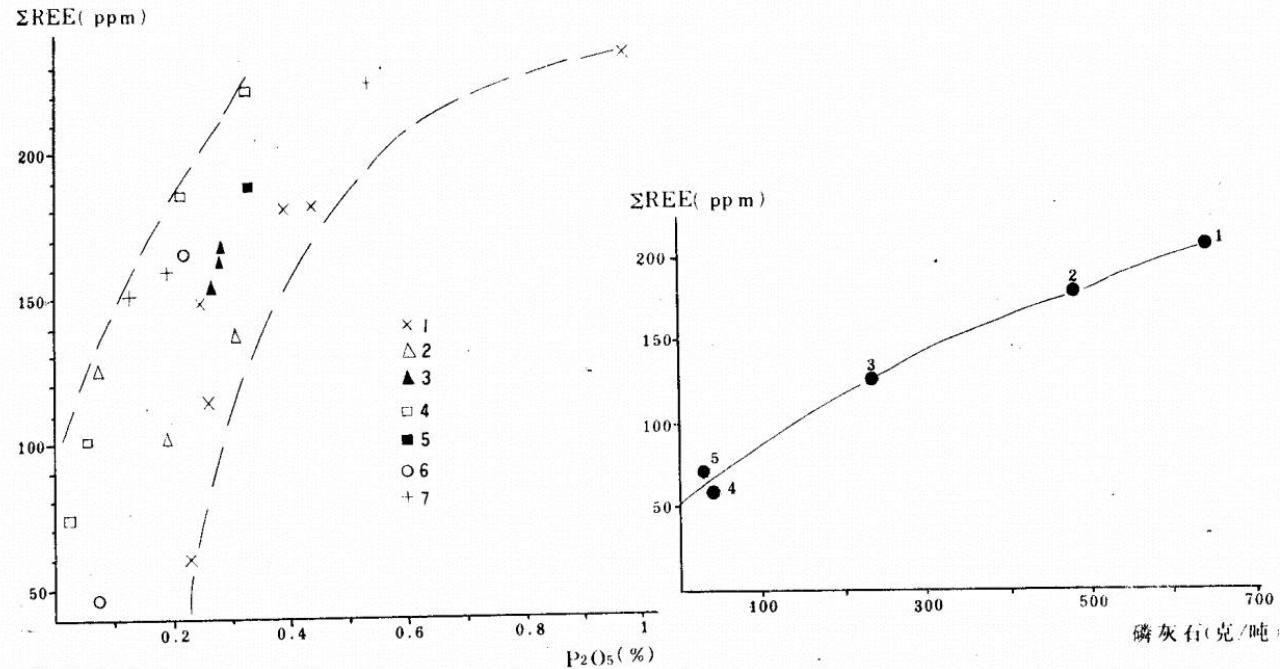
- 1.板仓杂岩体; 2.其林门杂岩体; 3.安基山杂岩体; 4.高资杂岩体; 5.新桥杂岩体; 6.石马杂岩体; 7.谏壁杂岩体

闪二辉辉长岩)含P₂O₅为0.204%(表III-19)，按磷灰石的化学分子式($3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5\cdot1/3\text{CaF}$)计算，0.204%的P₂O₅可以组合成0.564%的磷灰石，已知磷灰石的稀土元素总量为4280ppm，则岩石中赋存于磷灰石内的稀土元素为 $4280\times0.564\%=24.14\text{ppm}$ ，占全岩稀土元素总量(77.94ppm)的31%，由此可见，尽管磷灰石是微量元素，却对岩石的稀土元素含量有重要的影响。

3.轻、重稀土元素的分馏状态

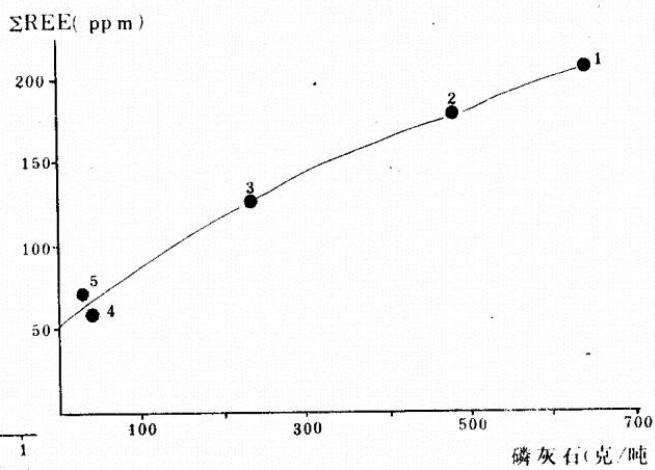
本区侵入岩的轻稀土元素(La-Eu)与重稀土元素(Gd-Lu)的比值($\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$)变化范围为4.86-20.82，与涂氏的同类岩石相比偏大。

随着时间的发展，轻、重稀土元素比值递增(表III-23)，表明轻稀土元素趋向富集，重稀土元素相对贫化。但仅用轻、重稀土元素比值来描述稀土元素的分馏状况过于概略。事实上，在岩浆演化的最晚期，重稀土元素随着原子序数增加，其含量有增高的趋势，反映在模式图上(图III-26)，重稀土元素的模式曲线逐渐平缓，最后，转向左倾。



图三-28 侵入岩稀土元素总量与P₂O₅相关图

1. 板仓杂岩体; 2. 其林门杂岩体; 3. 安基山杂岩体;
4. 高资杂岩体; 5. 新桥杂岩体; 6. 石马杂岩体; 7.
谏壁杂岩体



图三-29 侵入岩稀土元素总量与磷灰石相关图

1. 基性岩; 2. 中性岩; 3. 中酸性岩; 4. 超基性岩;
5. 酸性岩

表三-25 单矿物稀土元素含量(ppm)及特征值*

矿物	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
磷灰石	1069.12	2005.46	204.53	702.10	107.56	22.95	79.95	6.93
辉石	12.79	21.05	3.85	16.69	5.20	1.23	11.95	<0.06
角闪石	16.83	71.00	8.71	43.43	12.55	3.37	12.04	0.42
黑云母	2.21	28.11	0.46	1.56	0.33	0.02	0.32	<0.06

矿物	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	ΣREE	$\frac{\Sigma LRE}{\Sigma HRE}$	δEu
磷灰石	39.79	9.01	12.54	18.04	2.36	4280.34	24.38	0.73
辉石	2.83	0.77	8.53	1.42	0.25	86.59	2.36	0.45
角闪石	8.57	1.89	8.84	3.81	0.49	191.95	0.46	0.89
黑云母	0.06	0.005	0.077	0.08	0.01	33.27	56.36	0.23

*样品取自解放桥岩体

考虑到稀土元素有奇偶效应，原子序数为奇数的稀土元素丰度低，测试的相对误差较大，用于元素对的对比，往往会歪曲真相，因此，我们选择自然界丰度较高的偶序数稀土元素Ce、Nd和Er、Yb进行轻、重稀土元素分馏和演化的对比。

从表III-26可知，随着时间的推移和岩石类型由超基性→酸性的变异，轻稀土元素的Ce/Nd比值递增，重稀土元素的Er/Yb比值递减，两项比值反向消长，在演化过程中，轻稀土元素组中原子序数大的元素相对贫化，重稀土元素组中原子序数大的元素相对富集。

表三-26 侵入岩Ce/Nd、Er/Yb比值

期	次	岩类	Ce/Nd	Fr/Yb
燕山早期		橄榄辉长岩	1.51	2.24
		角闪辉长岩	1.98	1.31
		辉长岩、角闪岩	2.34	1.18
燕山晚期	1	(石英)闪长岩	2.46	1.15
	2	石英闪长岩	2.64	1.03
		花岗闪长岩	2.94	1.00
	3	花岗岩	3.22	0.73

基性岩中出现Eu亏损，是一个反常现象。铕的地球化学行为在很大程度上受斜长石的影响，因斜长石中稀土元素的分配系数以Eu最高，分别高于相邻元素Sm和Gd的Kd值6倍和10倍⁽¹⁶⁸⁾，故在一般情况下，富含斜长石的基性岩应该出现Eu正异常，即 $\delta\text{Eu}>1$ 。本区基性岩虽然富含斜长石，同时也含有较多的磷灰石、辉石和角闪石，三者的 δEu 值，分别为0.73、0.45和0.89，均属Eu亏损矿物。经计算，这三种矿物的Eu亏损总量大于斜长石中Eu的盈余量，因此，总体系中出现Eu亏损。同时，说明富含磷灰石是岩石中Eu亏损的重要因素。

二、侵入岩的分异作用和同化混染作用

(一) 分异作用

本志所论述的分异作用系指侵位之后的就地分异作用。区内中—基性岩与中酸性岩的分异趋势有所不同，前者内部基性程度高，边缘偏酸性，形成“酸性边”^(159、160)；后者内部酸性程度高，边缘偏基性。

设置格式[miao Gu]: 上标

蒋王庙基性岩体的内部为橄榄辉长岩或角闪橄榄辉长岩，并有侧分泌形成的(橄榄)辉石岩脉， SiO_2 含量40-44%，斜长石牌号为80-65；中间部分为辉长岩和辉石闪长岩， SiO_2 含量为50%左右，斜长石牌号为65-58；边部为闪长岩， SiO_2 含量55%左右，斜长石牌号为50-30。据钻孔资料*，深部出现闪长岩—辉长岩—辉石橄榄岩等韵律性的“层次”，颇有火成堆积的迹象。其中以辉长岩为主，单“层”厚度10-75米，辉石橄榄岩与闪长岩的

*江苏冶金地质勘探公司810队蒋王庙普查区ck1孔资料

删除[miao Gu]: cki

单“层”厚0.5-5米。显然，该岩体的分异作用是结晶分异和重力分异相结合。在基性岩浆上升，温度不断下降的过程中，结晶能力强的橄榄石、辉石等率先晶出，并因重力大而下沉。岩浆继续上升，已结晶的矿物集合体被带到上部，尚未固结的熔浆在其周围环流，并以其为核心相继晶出，故蒋王庙岩体有多中心结晶分异和水平方向分相的特点。侵位之后，结晶分异和重力分异作用还在不断进行，所以，同时具有垂深方向的火成堆积现象。

解放桥岩体上部为角闪辉长岩，密度为2.88克/立方厘米；下部为橄榄角闪二辉辉长岩，密度为2.92克/立方厘米。比重大的暗色矿物(橄榄石、辉石、磁铁矿等)和Cr、Ni等元素富集于下部，表明该岩体重深方向的重力分异也很显著。

中酸性岩体的浅部分异特征以下蜀岩体最具代表性，该岩体内部相为中一粗粒二长花岗岩和花岗闪长岩，过渡相为连续不等粒结构或似斑状结构的花岗闪长岩，边缘相为斑状结构的花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩。这三个相带的SiO₂百分含量分别为：66.83、66.33和65.52，K₂O百分含量分别为3.74、3.50和3.21。反映在矿物成分上的变化是石英和钾长石逐渐减少，暗色矿物(角闪石、黑云母)有所增加。斜长石牌号由An27变为An36，即由更长石变为中长石。

上述分异现象在脉岩中尤为显著，如新桥村北有一条花岗闪长斑岩脉侵入于(石英)闪长玢岩中，脉之内部和冷凝边的化学成分有明显的差异(表III-27)，内部的SiO₂和K₂O含量高，边缘相对富集基性组分和挥发组分。其中以SiO₂含量相差最悬殊，差值近9%。CaO也是一个变化较大的组分，差值1.5%。其他组分相差不甚显著。SiO₂和CaO分别代表酸性和基性两端元组分，前者主要赋存于石英和钾、钠长石中，后者主要赋存于斜长石、角闪石和副矿物中。因此，中酸性岩体(脉)分异作用反映在矿物上的变异是边部富含斜长石、角闪石、榍石、磷灰石等，内部富含石英和碱性长石，斜长石牌号由内部至边缘逐渐增高。

表三-27 脉岩化学成分变异表

脉岩	相带	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	H ₂ O ⁺	CO ₂
花岗闪长岩	内部	66.06	0.39	14.57	1.46	2.17	0.06	1.37	2.63	4.05	3.88	0.28	1.62	2.47
	冷凝边	57.21	0.48	18.31	1.48	2.53	0.09	1.69	4	4.69	3.65	0.29	2.61	4.80

上述分异作用的原因，可用stormer(1975)二长温度计测定岩体温度的资料加以说明，如徐湾岩体中心相结晶温度为600°C左右，过渡相(或边缘相)为850°C左右(表III-28)，表明边缘相是在高温状态下固结的，结晶能力强的角闪石、斜长石、黑云母等矿物首先晶出，形成了相对偏基性的边缘相，剩余岩浆的硅碱组分相对增加，并在较为封闭的环境中，缓慢结晶成似斑状或等粒结构的中心相岩石。

徐湾岩体内部相环带斜长石成分的计算结果：核部环带的结晶温度为654°C，边缘环带为603°C，表明整个岩体和单个矿物均是在温度不断下降的情况下固结的，这是中酸性岩浆侵位后浅部分异的主要因素。

(二) 同化混染作用

本区侵入岩的同化混染现象比较普遍。蒋王庙基性岩体与中三叠统钙质岩石接触部位，汲取了围岩中的钙质，产生了一些富钙硅酸盐矿物，包括矽卡岩和成群出现的榍石，使残余

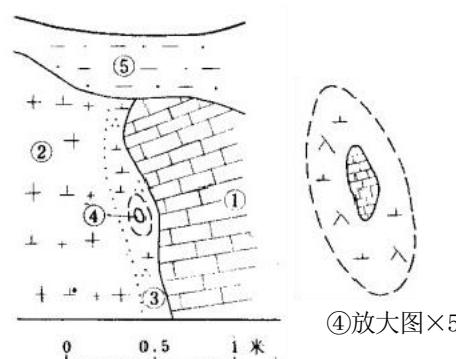
表三-28 徐湾岩体结晶温度*

采样位置	岩相	钾长石 XAb AF	斜长石 XAb PF	岩石结晶温度
石头岗	中心相	0.09	0.58	607°C
巢风山南	中心相	0.10	0.67	589°C
太阳山北	过渡相	0.43	0.71	835°C
沈家山北	过渡或边缘	0.30	0.58	853°C

*陈思松等, 1981年资料

岩浆相对富碱。继而发生碱交代, 致使斜长石减少或长石牌号降低, 产生一些交代成因的钾长石, 同时辉石出现深绿色的含钠辉石环边, 变成了碱性辉长岩和等色岩。这些岩石具有斑杂构造和包裹变晶结构, 为典型的混染特征。另外, 该岩体中常有沉积岩捕虏体, 并已变成辉石一斜长石角岩, 其中有辉石和斜长石变斑晶。人工重砂分析发现辉长岩中有红柱石、方柱石、电气石等, 这些都是混染作用的标志。

中酸性岩体的同化混染作用有两种情况: ①当岩体与砂岩、砂质泥岩接触时, 侵入岩向酸性转化。如徐湾岩体西南部与象山群及杨冲组接触部位, 变为二长花岗岩和花岗闪长岩, 其中见有砂状石英, 下蜀岩体与五通组或坟头组接触部位, 石英含量明显增多, 局部达45%; 安基山岩体的石英闪长斑岩岩枝侵入于象山群砂岩中, 捕虏并同化围岩而变成花岗闪长斑岩。②当中酸性岩体与灰岩接触时, 则向中基性方向转化。如徐湾岩体东部与栖霞组灰岩接触部位以及安基山岩体伸入中、下三叠统灰岩的岩枝, 都变为闪长玢岩或(石英)闪长玢岩; 香山北坡侵入于黄龙组灰岩的(石英)闪长玢岩岩脉, 其内部SiO₂含量为63.46%, CaO为3.22%, 边部SiO₂为61.11%, CaO为4.28%, 显然, 岩浆从围岩中汲取了CaO, 输出了SiO₂。在磁山头采坑中见花岗闪长斑岩与栖霞组接触处, 两者之间有40厘米的石英闪长斑岩混染带(图III-30), 带内有灰岩捕虏体, 捕虏体周围的侵入岩变成了皮壳状的闪长玢岩。



图三-30 侵入岩与围岩接触混染关系(磁山头)

1. 栖霞组灰岩; 2. 花岗闪长斑岩; 3. 石英闪长斑岩; 4. 闪长玢岩及灰岩核心; 5. 浮土

三、脉岩

区内各杂岩体及其围岩中还分布着各种脉岩, 它们是构成区内杂岩体的一个组成部分。

(一) 脉岩的地质特征

区内已调查的岩脉计292条, 可分为两大类, 即未分岩脉和二分岩脉。未分岩脉矿物成分, 化学成分均与主侵入体相似, 多产于岩体的顶部或边缘, 二分岩脉是岩浆分异最晚阶段硅碱与铁镁分离所形成的脉状岩石。

未分脉岩以(石英)闪长玢岩和花岗闪长斑岩为主, 分别占统计数的35%和33.1%, 其次为花岗斑岩, 占3.3%, 另有少量的正长斑岩、二长斑

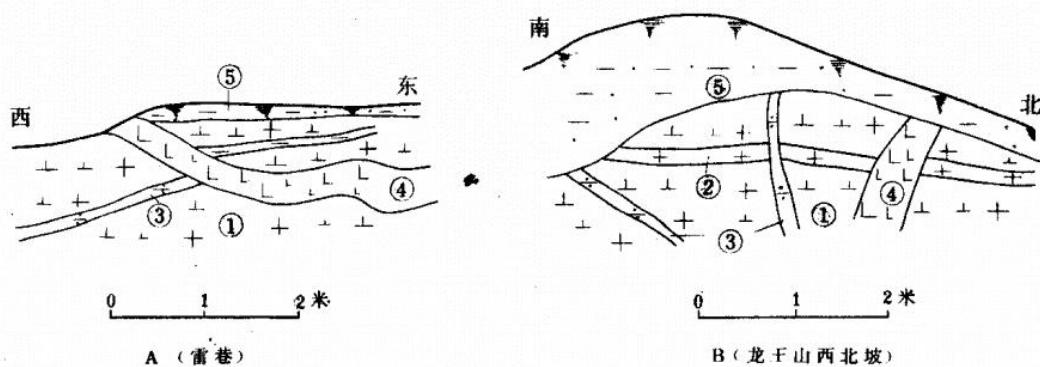
岩、辉石岩、辉绿玢岩等。

二分脉岩主要是煌斑岩和细晶岩，分别占统计数的11%和5.4%，另有为数甚少发育不良的伟晶岩。

岩脉的产状受断裂构造控制，其中60%左右的岩脉走向为NW至NNW，其次为NE和近EW向，分别占13%和10%，余者为NNE和NWW向。

岩脉的规模，从总体来看以未分岩脉较大，其中以花岗闪长斑岩和(石英)闪长玢岩脉最大，可延伸数百米，宽数十米；花岗斑岩、二长斑岩、辉绿玢岩一般宽1-5米，最长可达1-2公里。二分岩脉规模通常较小，一般宽小于2米，细晶岩脉多数宽20-30厘米。

岩脉的先后关系，在雷巷地区多处可见细晶岩穿插未分岩脉，同时，又被煌斑岩脉切穿(图III-31)，所以，煌斑岩是本区燕山期岩浆活动的最终产物。



图三-31 岩脉穿插关系素描图

1. 斑状花岗闪长岩；2. 细粒花岗岩；3. 细晶岩；4. 煌斑岩；5. 浮土

| 删掉[miao Gu]: 上

(二) 岩石类型

仅简述细晶岩、煌斑岩、橄榄辉绿岩等二分脉岩的岩石特征。

1. 细晶岩：主要分布于下蜀岩体和徐湾岩体内，以花岗细晶岩为主，还有少量斜长细晶岩和闪长细晶岩，它们往往成群分布，并大体互相平行，脉宽20厘米左右。

花岗细晶岩呈肉红色，细晶结构，矿物成分：钾长石50-60%，斜长石10-25%，石英25-30%，黑云母少量；副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等。造岩矿物呈它形粒状，粒径约0.1毫米。局部为文象结构、显微微晶结构。斜长细晶岩和闪长细晶岩的主要成分为斜长石，其它特征基本与花岗细晶岩相似。

2. 煌斑岩：分布颇广，尤以下蜀、安基山、徐湾和丹徒镇岩体中最为常见，沉积岩中也有分布，脉宽一般0.5—2米，最宽者可达5米，有闪斜煌斑岩，云斜煌斑岩、闪斜云煌岩等。

闪斜煌斑岩呈灰绿色，风化后呈棕色，煌斑结构，以自形角闪石为主，含量60-70%，其次为自形程度稍差的斜长石，含量30-40%，另有少量辉石，约1%。角闪石呈棕色、细长柱状，一般 0.05×0.8 毫米，斜长石具环带构造和钠长双晶。次生矿物有绢云母等。

3. 橄榄辉绿岩：该岩脉仅见于下蜀严巷，侵入于下蜀岩体中。岩石呈暗灰色、灰绿色，细粒含长结构，块状构造，矿物成分：斜长石78%，橄榄石16%，辉石3%，磁铁矿2%。该岩脉沿走向矿物成分有所变化，其南端相变为辉石闪长岩，含斜长石63%，辉石15%，黑云母和绿泥石15%，角闪石和绿帘石5%。表现了基性岩浆分异强烈，岩性多变的特点。

表三-29 脉岩化学成分(%)

岩石类型	橄榄辉绿玢岩	斜长煌斑岩	(石英)闪长玢岩	二长花岗斑岩	二长花岗斑岩	文象花岗斑岩	花岗斑岩	花岗斑岩	花岗细晶岩
产地	下蜀严巷	东林场	石头岗	四平山	五洲山	馒头山	石马金子山	徐湾	严巷
SiO ₂	50.84	51.78	61.56	68.72	71.28	70.14	71.34	73.88	77.32
TiO ₂	1.05	0.99	0.66	0.77	0.36	0.22	0.23	0.13	0.08
Al ₂ O ₃	16.99	17.55	15.65	16.63	14.75	14.00	14.66	13.55	12.36
Fe ₂ O ₃	3.05	3.95	4.44	1.75	2.26	1.07	2.05	1.27	0.60
FeO	6.10	4.07	1.58	1.00	0.50	1.20	0.38	0.36	0.29
MnO	0.15	0.12	0.07	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02
MgO	5.73	4.66	2.72	0.95	0.33	0.74	0.34	0.44	0.11
CaO	8.95	5.51	3.00	2.13	0.41	1.58	0.76	0.46	0.53
Na ₂ O	3.81	5.08	4.26	3.44	3.32	3.67	2.62	3.54	3.74
K ₂ O	1.78	2.51	2.82	3.81	3.86	3.96	4.68	4.28	4.35
P ₂ O ₅	0.20	0.40	0.32	0.17	0.14	0.18	0.15	0.07	0.02
H ₂ O ⁺	0.57	2.58	1.98	1.78	1.57	1.35	1.76	1.29	0.44
CO ₂	0.09	6.28	0.17	1.20	0.18	1.06	0.41	0.11	0.57
合计	99.62	99.68	99.18	99.90	98.91	99.25	99.42	99.40	99.99

(三) 岩石化学特征(表III-29)

基性脉岩有橄榄辉绿岩和煌斑岩。橄榄辉绿岩的SiO₂含量为50.84%，标准矿物中出现橄榄石和霞石，查氏Q值为负值，属硅酸不饱和岩石。Na₂O+K₂O=5.599%，比戴里辉绿岩高1.5%，里特曼指数3.99，属碱钙性岩石。Fe₂O₃+FeO=9.15%，比戴里值少2.5%，与本区基性岩体相似，亦具有贫铁的特点。斜长煌斑岩的SiO₂含量51.78%，比戴里值低2%，查氏Q值为负数，标准矿物中出现橄榄石和霞石等贫硅矿物，Na₂O和K₂O均比戴里值高，尤其富含钠质。查氏a值为15.34，里特曼指数为6.56，属碱钙性岩石。Fe、Mg、Ca等基性组分偏低，H₂O⁺含量高达2.58%，比戴里值及区内其他侵入岩高一倍以上。总之，煌斑岩是以贫硅、富碱和H₂O⁺为特点。

中性脉岩以(石英)闪长玢岩居多，该脉岩SiO₂含量为61.56%，比戴里值高2.5%。Na₂O4.26%，K₂O2.82%，均比戴里值高0.7%，里特曼指数2.70，属钙碱性岩石。基性组分偏低，查氏b值仅为10.20。H₂O⁺含量1.98%，比戴里值偏高，其特点是：富含硅、碱、水，贫钙、铁、镁。

中酸性脉岩以二长花岗斑岩为代表，其主要化学成分与戴里值相比，硅、碱、水偏高，钙、镁、铁偏低，与中酸性侵入岩体的岩化特征一致。

酸性脉岩以花岗斑岩居多，该类脉岩化学成分与戴里花岗岩比较，SiO₂、K₂O、H₂O⁺偏高，全碱相当，铁、镁、钙偏低。其中三价铁大于二价铁，具有超浅成相氧化率高的特点。

超酸性脉岩有花岗细晶岩， SiO_2 含量为77.32%，是全区酸度最高的岩浆岩。基性组分极低，铁、镁氧化物总量仅1%， TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 含量均为全区侵入岩的最低值。

综上所述，全区脉岩化学成分的总体特点是：硅、碱、水含量偏高，铁、钙、镁偏低。

脉岩化学成分常受围岩性质影响，围岩为灰岩，脉岩的化学成分向基性方向转化；围岩为石英砂岩，脉岩向酸性方向转化。同时，脉岩普遍具有内部偏酸性，边部偏基性的特点。

(四) 微量元素特征

脉岩中微量元素的分布状况如表III-30。

基性岩浆元素Ti、V、Co、Ni、Cr的含量从煌斑岩→辉绿岩→(石英)闪长玢岩→花岗斑岩逐次降低，与岩石酸度反消长，其中Ni、Co下降幅度最大，最高值和最低值分别相差6倍和7倍；除Cr以外，大部分都比相应岩类的克拉克值低，属贫化元素；Cr在绝大多数脉岩中丰度系数都大于1，(石英)闪长玢岩和石英闪长斑岩尤高，丰度系数大于3。

亲铜元素在脉岩中的分布无甚规律，Cu以橄榄辉绿岩和煌斑岩中含量最高，分别为45和43ppm，但均小于克拉克值；Pb以石英闪长斑岩中的含量最高，为52ppm，丰度系数3.45，次为煌斑岩，含量为33ppm，丰度系数4.13，Zn在正长斑岩中含量最高，为304ppm，丰度系数为5.46。煌斑岩和(石英)闪长玢岩含Zn量也较高，分别为173ppm和92ppm，均大于克拉克值；Mo以正长斑岩的含量最高，为2ppm，丰度系数1.68。

亲石元素Ba、Sr等在脉岩中的含量一般都偏高，尤以正长斑岩和石英二长斑岩中的Ba最突出，含量分别为4000ppm和2600ppm，丰度系数分别为8.88和5.77，属高度富集元素，可能与这两种岩石富钾有关，因Ba可置换K，进入钾长石晶体中。Be在各类脉岩中的含量比较稳定，为1.2—2.4ppm

其它元素在脉岩中的含量一般均低于克拉克值。

第二节 火山岩

本区火山岩基岩面积约300平方公里，但分布零星，露头面积仅25平方公里。西区呈线形分布于上坊一天井山、铁心桥—南京市区及北象山—栖霞山等地；中—东区分布较广泛，主要见于句容盆地、上党盆地以及圌山一带。

火山活动主要在中生代，次为新生代。中生代有一系列玄武安山质—石英安山质一流纹质火山活动，具有多旋回韵律和活动中心不断由西向东迁移的特点。新生代只有零星、单一的玄武质岩浆活动。

近年来发现，晚古生代有火山活动的迹象⁽¹²⁷⁾，即在二叠系大隆组中见有20厘米厚的流纹质沉凝灰岩，但已强烈碳酸盐化，未作深入研究，本志不作讨论。

火山熔岩的分类命名本志采用定量矿物分类法，以国际地质联合会火山岩分类分会推荐的方案为基础，针对本区的实际情况作了部分修改(图III-32)。矿物定量以岩石化学成分作了校正，将CIPW法计算的标准矿物，换算成Q、A、P分子体积百分比，投影于分类图上，确定其岩石名称。其中Ab分子在碱性长石和斜长石中的分配采用里特曼(1973)的分配方法。

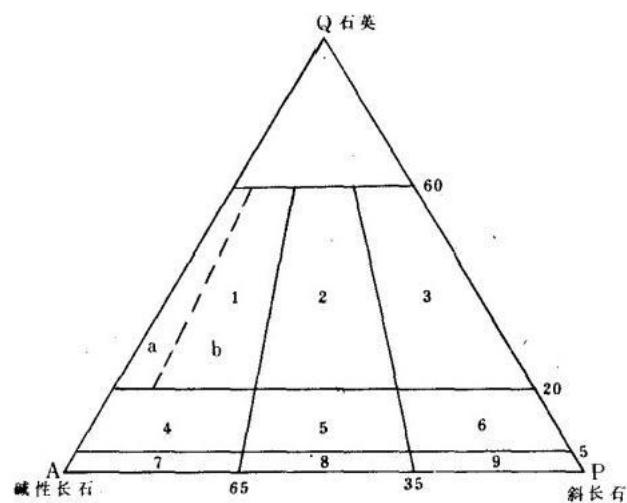
火山碎屑岩主要根据火山碎屑的大小和含量以及成岩方式进行分类命名(表III-31)。

删除[miao Gu]: 圈

表三-30 脉岩微量元素特征值

岩类 特征 元素	橄榄辉绿玢岩		煌斑岩		(石英)闪长玢岩		正长班岩		石英二长斑岩		石英闪长斑岩		花岗闪长斑岩		花岗斑岩		花岗细晶岩	
	含量 (ppm)	丰度 系数																
Ti	4667	0.52	8033	0.89	4942	0.62	1500	0.40	2400	0.63	2273	0.60	1500	0.40	1167	0.51	1330	0.58
V	100	0.50	163	0.82	94	0.94	35	0.40	50	0.57	61	0.69	30	0.34	27	0.68	42	1.05
Zr	130	1.30	135	1.35	168	0.65	225		160		184		160		126	0.60	154	0.77
Ga	18	1.0	36	2.00	16	0.8	12.5		15.4		13		15		20	1.00	14	0.70
Sn	<3		<3		<3		<3		<3		<3		<8		<3		<3	
Cu	45	0.45	43	0.43	30.7	0.88	12.5	0.48	30	1.15	11	0.42	6	0.23	8	0.40	18	0.90
Pb	<10		33	4.13	20	1.33	25	1.66	23	1.53	52	3.45	<10		28	1.40	22	1.1
Zn	20	0.15	173	1.33	92	1.28	304	5.46	13	0.23	55	0.99	<30		10	1.17	12	0.20
Co	20	0.44	23	0.51	14	1.40	1.3	0.19	4.6	0.60	2.2	0.31	<1		0.3	0.06	3	0.60
Ni	72	0.45	163	1.02	45	0.82		0.47	11	0.74	8	0.54	3	0.20	2.7	0.34	7	0.88
Mo	0.7	0.50	1.3	0.93	0.5	0.56	2	1.68	0.14	0.12	0.2	0.17			0.5	0.5	0.2	0.2
Cr	250	1.25	298	1.49	181	3.62	50	2.27	42	1.91	68	3.00	30	1.36	13	0.52	48	1.92
Ba	867	2.89	2693	0.98	1232	1.90	4000	8.88	2600	5.77	1191	2.64	1500	3.33	1700	2.05	650	0.78
Sr	867	1.97	473	1.08	992	1.24	1000	2.27	840	1.91	623	1.41	500	[.13	400	1.30	420	1.40
Bc	1.2	3.00	2.7	6.75	2.1	1.17	1.8		1.8		2.4		1.5		1.7	0.31	2	0.36
Nb																	24	0.52
La	<40				39		70		48		36		<80		53	0.88	44	0.73
Y	12	0.60	<20		9.2		15		11		8		<10		17	0.50	16	0.47
P	200	1.43			368	2.30												

• 丰度系数为岩石中微量元素含量与同类岩石该元素的克拉克值之比



图三-32 火山岩分类图

1.a碱性流纹岩、b流纹岩；2.英安流纹岩；3.英安岩；4.石英粗面岩；5.石英粗安岩；6.石英安山岩；7.粗面岩；8.粗安岩；9.安山岩/玄武岩

一、中生代火山岩

本区中生代火山活动主要发生在晚侏罗世—早白垩世，晚白垩世已基本停息，活动的特点是，在时间上具有多旋回性，在空间上具有明显的区间性，分成西、中、东三个岩区，但中区和东区岩石性质相近，合并叙述，统称中一东区。现将其时空关系归于表III-32。西区为碱钙性岩区，中一东区为钙碱性岩区，两者火山活动的时期、岩浆性质及演化方向均有差异。

I、西火山岩区

宁镇山脉西段(即西火山岩区)实为宁芜盆地的东北边缘部分。

(一) 火山喷发旋回的划分

表三-31 火山碎屑岩分类表

碎屑粒度 (mm)	相应 成岩方式 (%)	火山 碎屑 含量 (%)	类和 亚类		向熔岩过渡类型		正常火山碎屑岩类型		向沉积岩过渡类型	
			碎屑熔岩	熔结碎屑岩	碎屑熔岩	熔结碎屑岩	火山碎屑岩	沉积火山碎屑岩	火山碎屑沉积岩	
			10-90	>90	>90	>90	50-90	10-50		
			熔浆胶结	熔结	压结和水化学胶结	水化学胶结和压结	水化学胶结和压结			
>100	>30		集块熔岩	熔结集块岩	火山集块岩	沉火山集块岩	凝灰质巨砾岩			
100-2	>40		角砾熔岩	熔结角砾岩	火山角砾岩	沉火山角砾岩	凝灰质砾岩			
<2	>60		凝灰熔岩	熔结凝灰岩	凝灰岩	沉凝灰岩	(2-0.1mm) 凝灰质砂岩 (0.1-0.01mm) 凝灰质粉砂岩 (<0.01mm) 凝灰质泥岩			

西区火山活动始于晚侏罗世，以中一基性岩浆为起点，向碱性方向演化，由早到晚出现四个喷发旋回(图III-33)。

1.龙王山旋回

该旋回的火山岩分布于铁心桥、天井山、上坊、栖霞山等地。

在晚侏罗世早期山间盆地型陆源碎屑堆积(西横山组)之后，开始了龙王山旋回的安山质火山活动，首先以爆发开始，继而为大规模的溢流，构成第一个喷发韵律，其后，由于喷

删除[miao Gu]: 碎钢
删除[miao Gu]: 楷
删除[miao Gu]: 相同
删除[miao Gu]: 岩
删除[miao Gu]:

表三-32 中生代火山活动喷发旋回

西区			东区		
喷发旋回	年龄值	岩石类型	喷发旋间	年龄值	岩石类
娘娘山旋回	91.0 ⁽¹⁶⁹⁾	碱性粗面岩、响岩、含假白榴石火山碎屑岩	同山旋回	96.5-64.3	碱性流纹岩，石英粗面岩
姑山旋回	109.7-117.3	安山岩—石英安山岩	上党旋回	119-77.4	石英安山岩—石英粗安岩，在英粗面署
大王山旋回	124.6	黑云母辉石安山器			
龙王山旋回	126.8-136 ⁽¹⁶⁹⁾	角闪安山岩			



图三-33 西区火山喷发旋回和岩相柱状示意图

发强度的变化，形成了火山碎屑岩由粗至细变化的两个韵律层，即第II和第III韵律，最后是以喷发—沉积告终。喷发—沉积相不稳定，各地厚度相差较大，宁芜盆地中心较厚，本区厚仅7米，在地层单元划分上，仍归属云合山组。龙王山旋回火山活动的特点是初始喷发强度较大，物质来源丰富，形成了较厚堆积，该旋回的晚期喷发强度有所减弱，但喷发强弱变化频繁，形成了复杂多变的层序。本旋回溢流相、爆发相和喷发—沉积相的厚度比约为30:20:1。

2.大王山旋回

龙王山旋回之后，有短暂的间歇，紧接着为大王山旋回的玄武—安山质火山活动。主要见于铁心桥、梅山等地。按喷发强弱的变化分为三个韵律，第一韵律以较为平静的溢流为主，第二韵律以爆发开始，溢流结束；第III韵律也以爆发开始，继而为大规模的溢流，最后，为广泛的次火山相侵入。故本旋回火山活动是以溢流为主，爆发相和溢流相的厚度比约为1:4。

3.姑山旋回

该旋回为(石英)安山质火山活动，与下伏大王山旋回火山岩在酸度上有较大的差异，这是划分该旋回的重要依据之一。本旋回的火山岩见于梅山、铁心桥等地，该旋回虽是以喷发—沉积相开始，但其活动特点是以强烈爆发和喷溢为主，仅在旋回早期出现两次喷发—沉积相，也是本区火山岩堆积最厚的一次火山喷发旋回。

4.娘娘山旋回

该旋回喷发物仅见于周冲村，以沉火山碎屑岩为主，夹两层粗面质熔岩，最后以爆发—沉积岩告终。在上部的火山碎屑岩中见有较粗大的假白榴石晶体，含量达10%左右，这是娘娘山旋回的特征矿物。

(二) 岩石类型及造岩矿物、副矿物特征

西区火山岩虽然分布零星，但岩石类型繁多，有熔岩、火山碎屑岩和喷发—沉积岩三大类。

1.熔岩

熔岩是火山喷溢的产物，它最能反应岩浆成分和性质，因此，各火山喷发旋回均有其代表性的熔岩：龙王山旋回为安山岩、角闪安山岩、黑云母粗安岩(图版XVII-1)；大王山旋回为辉石安山岩、玄武安山岩；姑山旋回为角闪(石英)安山岩；娘娘山旋回为假白榴石响岩、粗面岩。

(1)岩石学特征

西区火山熔岩的主要特征见表III-33。

①角闪安山岩

分布于铁心桥、南京市雨花台、东阳镇等地。呈紫灰色，斑状结构，块状构造。斑晶主要由斜长石、角闪石组成，有时有少量黑云母，基质为细粒结构、交织结构，由大致定向排列的斜长石微晶及次生方解石、石英、绢云母组成，副矿物主要为磷灰石、磁铁矿、镜铁矿。

②辉石安山岩—玄武安山岩

分布于铁心桥等地。灰黑色，风化后紫灰色，斑状结构，斑晶主要为斜长石，次为单斜辉石和斜方辉石，有时见伊丁石，偶含少量黑云母、角闪石。基质为微晶结构，似拉斑玄武

删除[miao Gu]: VI

表三-33 西区火山熔岩矿物成分和结构

喷发 旋回	岩石类型	斑晶(%)						副矿物(%)		基质	
		斜长石	角闪石	黑云母	单斜辉石	斜方辉石	石英	磷灰石	磁铁矿	矿物	结构
娘娘山	黑云母粗面岩	20	少量	10						长英质	霏细
姑山	角闪(石英)安山岩	10-15	15-20	0-2.5			3-5	0.2	3	长英质	交织、微嵌晶
大王山	辉石安山岩	13-19		1-2	12-13	3-5		2-4		斜长石	微晶、交织
	玄武安山岩	20			5	伊丁石5				斜长石	微晶、拉斑玄武
龙王山	角闪安山岩	10-20	5-6	0-3						长英质	霏细、交织

结构、交织结构，主要由大致定向排列的斜长石微晶组成，有少量的碳酸盐矿物和次生石英、氧化铁等。副矿物有磷灰石、磁铁矿。

③角闪(石英)安山岩

分布于铁心桥、梅山等地。呈灰紫色，斑状结构，斑晶主要为斜长石、角闪石，其次有少量石英和黑云母。梅山地区的角闪(石英)安山岩中，斑晶有大小之分，相差悬殊，中间无过渡粒级的斑晶矿物。基质为微嵌晶结构，由隐晶质的长英质矿物组成。副矿物主要为磁铁矿、磷灰石和不透明的金属矿物。

④黑云母粗面岩

分布于周冲村，呈灰黄色，斑状结构，斑晶主要为斜长石、黑云母及少量角闪石、定向排列。基质由霏细状的长英质斑块组成，负突起明显。副矿物有磷灰石(浅黄褐色)、磁铁矿、锆石。

(2)造岩矿物特征

斜长石斑晶呈板状，聚片双晶发育，也常见卡斯巴律双晶，并具韵律型环带构造。其牌号见表III-34。随着时间由早至晚和岩石由基性向酸性或碱性演化，斜长石牌号逐步降低；具环带构造的斜长石，核部牌号高，边部低；斑晶斜长石牌号高，基质斜长石牌号低，反映了岩浆演化和结晶过程中不断向酸性和碱性发展的趋势。斜长石斑晶中常出现麻点状构造(图版XIX-2)，是岩浆不断与已晶出的矿物进行化学反应的结果，斜长石的有序度为0-0.3，属高温型。

表三-34 西区火山岩斜长石牌号⁽¹⁶⁹⁾

喷发旋回	岩石类型	斑晶	基质
娘娘山	假白榴石响岩	8-10	
姑山	角闪(石英)安山岩	33-42	30-32
大王山	黑云母辉石安山岩	核部46-54，边部42-44	30-35
龙王山	角闪玄武安山岩	核部67-71，边部63	38-59

单斜辉石：呈自形至半自形晶，短柱状，黄绿色， $C\wedge Ng=38^\circ-45^\circ$ ， $(+2V=49^\circ-56^\circ$ ， $Ng=1.6932-1.7086$ ， $Nm=1.6792-1.6919$ ， $Np=1.6783-1.6826$ 。其化学成分见表III-35，其中矿物分子Fs14.12%、Wo41.52%、En44.35%，属普通辉石。

表三-35 大王山旋回辉石化学成分(169)

辉石种类	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	FeO ₂	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O	总计
单斜辉石	50.50	0.33	1.76	2.47	6.53	0.52	15.46	20.45	0.54	0.19	0.47	0.35	0.25	99.82
斜方辉石	49.70	0.23	0.88	5.26	14.20	1.09	23.45	3.96	0.20	0.18	0.36	1.18	0.20	100.83

斜方辉石：仅见于大王山旋回，呈半自形柱状，具弱的浅黄绿—浅玫瑰色多色性， $(-2V=63^\circ-64^\circ$ ， $Ng=1.7038$ ， $Nm=1.6987$ ， $Np=1.6905$ ， $Ng-Np=0.0133$ 。化学成分见表III-34，其中矿物分子Fs28.95%、Wo7.7%、En63.78%，属紫苏辉石⁽¹⁶⁹⁾。

角闪石：多为褐色普通角闪石，长柱状，似菱形断面清楚，暗化边发育，核部被绿泥石、碳酸盐交代。姑山旋回中角闪石 $Ng=1.67$ ， $C\wedge Ng=14^\circ$ ， $(-2V=76^\circ-80^\circ$ 。

黑云母：呈片状，六边形，红褐至棕褐色，具较宽的暗化边，沿解理有氧化铁析出。 $(-2V=5^\circ-22^\circ$ ， $Nm=1.6086-1.6372$ 。部分已绿泥石化和绢云母化。

石英：仅见于姑山旋回的角闪(石英)安山岩中，表面洁净，具裂理，常被熔蚀成港湾状。

(3)副矿物

西区火山岩的副矿物组合与岩石类型有一定的关系，安山岩为磁铁矿—磷灰石型；粗安岩为磁铁矿—锆石型；粗面岩为磁铁矿—锆石—电气石型(表III-36)。

表三-36 西区火山岩的副矿物含量(克/吨)

喷发旋回	岩石名称	采集地点	磁铁矿	绿帘石	柘榴子石	赤铁矿	锆石	黄铁矿	磷灰石	方铅矿	金红石	锐钛矿	石	刚玉	电气石
娘娘山	含假白榴石含角砾凝灰岩	周冲村	1161			少	少	个	87.3	个					
	粗面岩		3784	少	个	708	44.1	0.8	0.3		个	个	个	个	26.6
龙王山	粗安岩	雨花台南	4484	个	21.9	3706	96.3	14.9	7.7	个		个	少		个
	安山岩	东阳	1130			2635	14.2	少	1037			个	个	个	

锆石晶体为无色—浅棕黄色，透明至半透明，多为棱角状，在粗安岩中因熔蚀而呈次棱角状和半浑圆状，常见有气体包裹体，粗安岩和粗面岩中尚有黑色包体，可能为石墨。锆石晶体由(100)、(110)柱面和(111)锥面及(131)、(311)偏锥面组成，多为(444)型和(244)型、其中有(144)型等(图III-34)。

磷灰石呈六方柱状，多数无色透明，少数呈浅灰色、烟灰色， $Ne=1.6329$ ，含F1.88%，

岩石名称	采样地点	锆石晶形		颜色	透明度	圆度	包体	长短轴比	熔蚀
		主要	次要						
含假白榴石含角砾凝灰岩	周冲村			无色 浅玫瑰色	透明 半透明	棱角状 半浑圆状		1:2 1:2.5	
粗面岩	周冲村			无色 浅米黄色	透明	棱角状	黑色 包体	1:2	
粗安岩	雨花台南			淡棕黄色	透明 半透明	次棱角状 半浑圆状	气体 石墨(?)	1:3 少数 1:4	原生凹坑 蚀纹
安山岩	东阳			浅黄色	透明	棱角状	气泡	1:3 1:4.5	

图三-34 西区火山岩锆石晶形特征图

属氟磷灰石，富含稀土元素， TR_2O_3 含量0.669%。

2. 火山碎屑岩

火山碎屑岩包括正常火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩三类。其区别不但表现在火山碎屑物与正常沉积物的含量不同，而且表现为胶结方式的差别。

①正常火山碎屑岩：区内此类岩石按碎屑粒级可分为火山角砾岩和含角砾凝灰岩两类。

火山角砾岩主要见于周冲村和南京市区，前者为粗面质火山角砾岩，后者为安山质火山角砾岩，角砾级碎屑一般占40-50%，砾径2-20毫米，碎屑呈棱角状一次棱角状，由岩屑(安山岩、粗面岩)和晶屑(主要为斜长石)组成，胶结物为火山灰。

含角砾凝灰岩主要见于栖霞山和周冲村，前者为安山质含角砾凝灰岩，后者为含假白榴石角砾凝灰岩(图版XVII-2)。岩石为含砾凝灰结构，角砾含量约10-15%，凝灰含量80-90%，砾径一般在0.2-1.2毫米，呈次棱角状一次圆状，碎屑主要由岩屑、晶屑及少量玻璃质组成。胶结物为火山微尘。

②沉积火山碎屑岩：此类岩石主要有沉火山集块岩、沉火山角砾岩、沉凝灰岩三类。沉火山集块角砾岩主要分布在江宁县天井山附近，沉火山角砾岩主要见于周冲村，两者特征见表III-37。沉凝灰岩主要见于周冲村，具有层理，岩石呈凝灰结构，凝灰级碎屑含量为75%，粒径0.15-0.7毫米，次棱角一次圆状，岩屑为粗面岩，晶屑为斜长石和少量石英，胶结物为绿泥石、碳酸盐。

删除[miao Gu]: VI

表三-37 西区沉火山角砾岩特征

碎屑特征 岩石类型	粒径(厘米)	含量(%)	圆度	成分	胶结物成分及含量
沉火山集块 角砾岩 (天井山)	集块为10-25 角砾为1.5-10	集块10-15 角砾50-60	次棱角— 次圆状	主要为粗安岩、安山岩 ，其次有粉砂质泥岩、凝 灰质粉砂岩	斜长石晶屑、熔岩屑、石英 粉砂质、粘土物质等。含量25 -40%
沉火山角砾岩 (周冲村)		• 角砾40	棱角一次棱角状 少数呈次圆状	主要由岩屑、晶屑(斜 长石、石英)组成	碳酸盐、少量的绿泥石、粘 土物质等。含量60%

③火山碎屑沉积岩：仅在周冲村娘娘山旋回中呈薄层状夹层产出。岩石接近正常沉积岩，多为含砾凝灰质砂岩，非火山碎屑物含量为岩石的50-90%，以水化学物质胶结为主。

(三) 岩石化学及微量元素特征

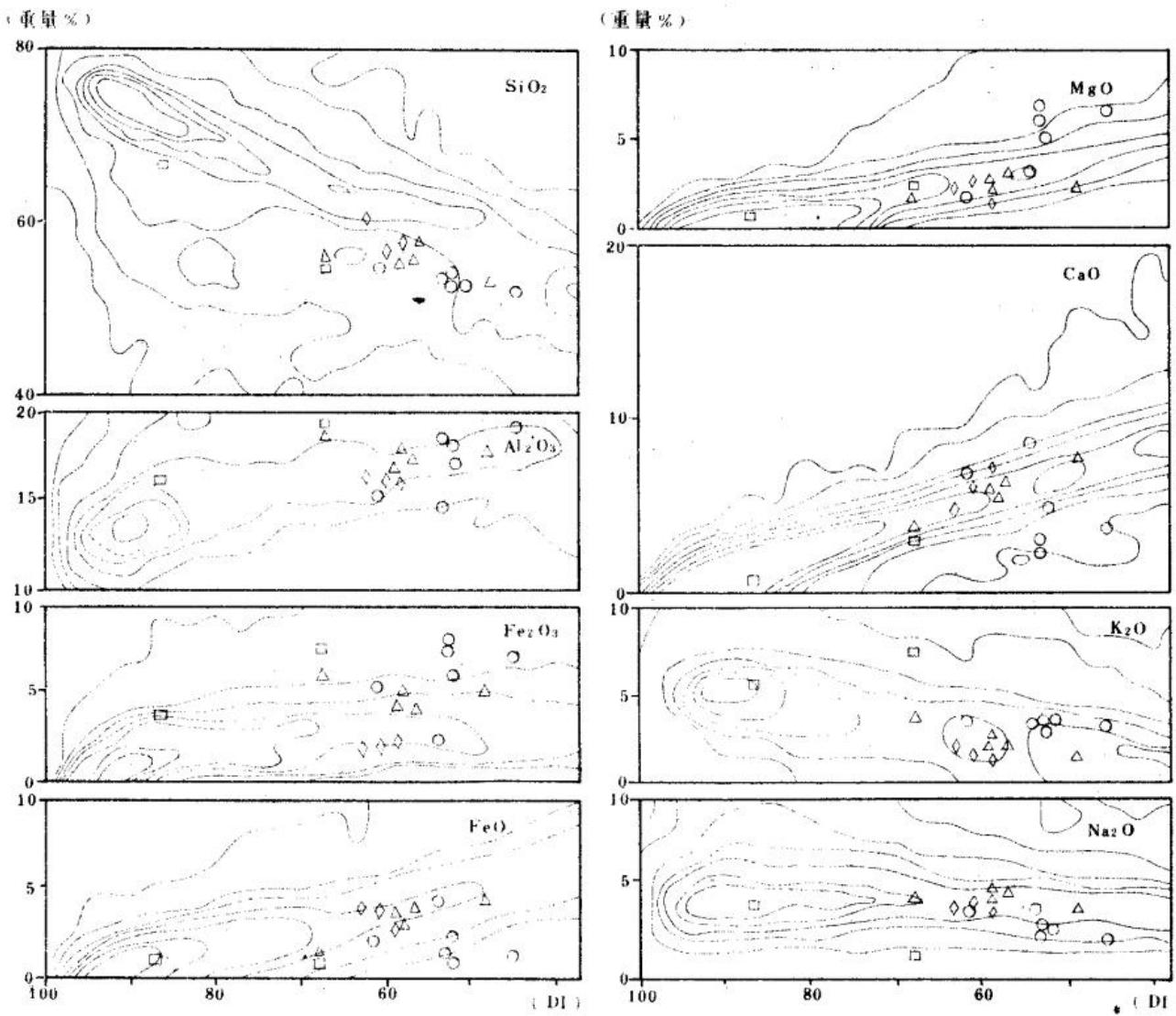
1. 岩石化学特征

西区火山岩化学成分见表III-38，它们与世界火山岩相比有如下的特点(图III-35)：

表三-38 西区火山岩化学成分(%)

喷发回	序号	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	H ₂ O ⁺	CO ₂	△ ⁻ SO ₃	总量
娘娘山	1	55.51	0.70	18.95	5.77	0.60	0.11	1.82	3.40	0.75	7.76	0.46	3.37		4.04	99.21
姑山	2	59.86	0.49	16.01	1.56	3.91	0.05	1.89	4.51	3.54	2.03	0.24	2.33	3.66		100.05
	3	57.28	0.58	16.17	2.48	3.32	0.09	1.68	6.82	3.84	1.80	0.30	1.70	2.98	0.02	99.06
	平均	58.57	0.54	16.09	2.02	3.62	0.07	1.79	5.67	3.69	1.92	0.27	2.02	3.32	0.01	99.56
	4	53.66	0.81	14.43	2.20	4.50	0.11	3.04	8.84	3.53	3.54	0.36		2.06	0.47	97.55
大王山	5	54.90	0.75	15.22	5.39	2.46	0.12	1.65	6.53	3.20	3.44	0.29	1.70	2.90		98.55
	6	54.20	0.83	18.19	7.79	1.34	0.08	7.33	2.35	2.28	3.55	0.41	1.21	0.07		99.63
	7	51.78	0.89	19.01	7.53	1.25	0.10	7.12	3.94	1.63	3.20	0.40	2.52	0.08	0.02	99.47
	8	53.58	0.87	18.39	8.33	1.09	0.11	6.94	2.38	2.13	3.28	0.39	1.57	0.21		99.27
	平均	53.62	0.83	17.05	6.25	2.13	0.10	5.22	4.81	2.55	3.40	0.37	1.75	1.06	0.10	98.89
	9	54.62	0.69	16.62	4.39	3.30	0.25	2.27	5.92	4.33	2.14	0.40	2.33	2.47	1.22	100.95
龙王山	10	57.28	0.71	17.11	3.94	3.47	0.30	2.82	5.10	4.09	2.06	0.39	1.89	0.74		99.90
	11	52.21	0.84	17.84	4.78	3.96	0.26	1.90	7.51	3.30	1.42	0.44	2.60	2.23		99.29
	12	56.10	0.78	18.44	6.11	1.36	0.05	1.12	3.56	3.58	3.78	0.40	2.97	0.17		98.42
	平均	55.05	0.76	17.50	4.81	3.02	0.22	2.03	5.77	3.83	2.35	0.41	2.45	1.40	0.31	99.64

1. 角闪安山岩(铁心桥); 2. 安山岩(铁心桥); 3. 安山岩(铁心桥); 4. 粗安岩(铁心桥); 5. 黑云母辉石安山岩(梅山); 6. 黑云母辉石安山岩(梅山); 7. 玄武安山岩(铁心桥); 8. 玄武安山岩(铁心桥); 9. 玄武安山岩(铁心桥); 10. 角闪石英安山岩(梅山); 11. 角闪石英安山岩(梅山); 12. 含假白榴石角砾凝灰岩(周冲村); △-为烧灼



图三-35 西区火山岩化学成分与分异指数相关图

1. 龙王山旋回; 2. 大王山旋回; 3. 姑山旋回; 4. 娘娘山旋回

(1) SiO_2 的投影点均在等结线极密脊线之下, 说明在同等分异程度的情况下, SiO_2 低于世界火成岩的平均值, 是贫硅的表现。

(2) 基性组分中 CaO 、 MgO 的投影点, 大部分位于极密脊线附近, 但大王山旋回以富镁贫钙为特征; 除姑山旋回外, 其它旋回 Fe_2O_3 的投影点都明显地高于极密脊线, 因此全铁含量($\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$)仍高于世界火成岩平均值。

(3) Al_2O_3 的投影点除娘娘山旋回偏离外, 其他旋回大部分落在极密区, 即与世界火成岩平均值相当。

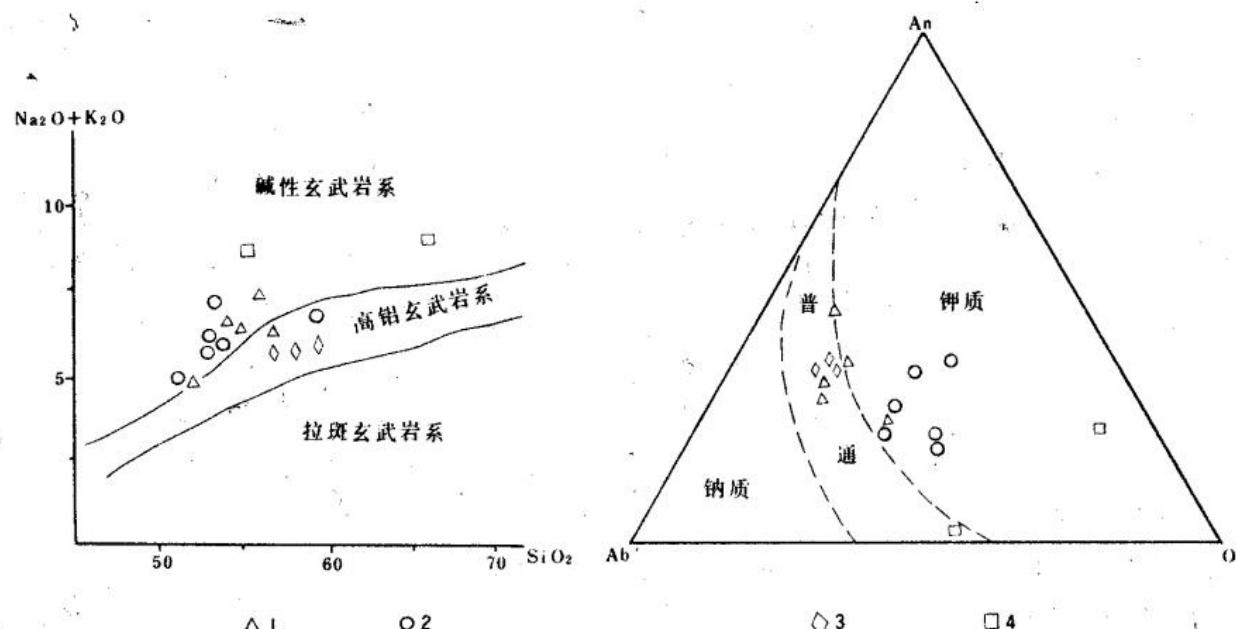
(4) 火山岩的碱性组分在各旋回中有所不同, 龙王山旋回 Na_2O 偏高, K_2O 与世界火成岩平均值接近; 大王山旋回 K_2O 偏高, Na_2O 偏低; 姑山旋回 K_2O 偏低, Na_2O 投影点落在极密脊线上, 即与世界火成岩平均值一致; 娘娘山旋回以富含 K_2O 为特征, 投影点明显高于极密脊线。说明西区火山岩碱质的演化总趋势是由富钠向富钾发展的。从表III-39可知, 西区火山岩除姑山旋回外, 其他三个旋回属碱钙性岩系, 与宁芜地区内部相比, 碱性程度有所降低。

表三-39 西区火山岩碱度特征值

喷发旋回	里特曼指数		钾质指数		钙碱指数	岩系
	变化范围	平均值	变化范围	平均值		
娘娘山	3.41—5.78	4.60	0.64—0.91	0.78		碱钙性
姑山	1.84—2.22	2.02	0.32—0.36	0.34	58.7	钙碱性
大王山	2.65—4.68	3.33	0.50—0.66	0.57	51.4	碱钙性
龙王山	2.41—4.13	3.16	0.33—0.51	0.38	54.3	碱钙性

在 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 与 SiO_2 变异图上(图III-36)，除姑山旋回外，其他三个旋回的投影点大部分落在碱性玄武岩区，但投影点的位置比宁芜地区内部同旋回投影点略低，说明碱性程度有所减弱，由碱性玄武岩系向高铝玄武岩系过渡。

在 $\text{Or}-\text{Ab}'-\text{An}$ 三角图上(图III-37)，大部分投影点落在钾质区和过渡(普通)区临近钾质区一侧。据此推测，西区火山岩的原始岩浆可能为富钾的碱性玄武岩。

图三-36 西区火山岩 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ — SiO_2 变异图图三-37 西区火山岩 $\text{Or}-\text{Ab}'-\text{An}$ 三角图(久野1966)(欧文1971)

1.龙王山旋回；2.大王山旋回；3.姑山旋回；4.娘娘山旋回

2.微量元素特征

西区火山岩微量元素含量见表III-40。其中龙王山旋回的安山岩和粗安岩中的V、Cu、Zn含量较高，V含量102—167ppm，略高于同类岩石的维氏值(100ppm)，Cu含量93—100ppm，是维氏值(35ppm)的三倍，Zn含量107—149ppm，是维氏值(72ppm)的1.5—2倍。此外，Cr在娘娘山旋回的粗面岩中达113ppm，而在龙王山旋回的安山质岩石中仅为37—42ppmi，这是一个反常现象。其它元素的含量多数低于克拉克值。在岩浆分

异过程中，Ni、Cu、Zn、Mo、Sr含量逐渐下降，Zr显著增加，其它元素无甚规律。

表三-40 西区火山岩微量元素含量

喷发 旋回	岩石 名称	样 品 数	主要元素及其平均含量(ppm)													
			V	Zr	Ga	Sn	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mo	Cr	Ba	Sr	Be
娘娘山	粗面岩	4	73	193	11	1.5	11	18	8	1.2	6	0.2	113	825	838	1.5
龙王山	粗安岩	3	167	80	15	1.5	93	13	107	13.3	17	0.3	37	633	750	1.8
	安山岩	13	102	65	19	1.2	100	35	149	11.0	20	1.0	42	731	1762	2.0

(四) 西区火山构造—喷发带

宁镇山脉西段的火山岩呈线形分布，受断裂带和原始地形的控制极为明显，主要分布于火山盆地边缘的凹槽部分。大致可分四个喷发带：

1.天井山—上坊喷发带

属方山一小丹阳断裂喷发带的一部分。该带北东段通过江宁县的天井山、上坊等地，走向25°左右，宽约4—6公里。天井山一带龙王山旋回的喷发—沉积火山集块角砾岩，具层理，角砾呈棱角一次棱角状，分选性极差，砾径1.5—25厘米。上坊附近，则是以溢流相的粗安岩为主。

2.南京—铁心桥喷发带

位于本区的西部边缘，受近35°方向的南京—梅山断裂控制，带宽3—5公里。带内露头较少，仅在雨花台南见有龙王山旋回溢流相的安山岩、粗安岩。此外，经钻孔揭示，在铁心桥和南京市区尚隐伏有龙王山旋回的安山质火山角砾岩、角砾凝灰岩和熔岩，韵律性比较清楚，厚度可达330米，呈平行不整合覆盖在西横山组之上。

3.栖霞山—北象山喷发带

位于栖霞山复背斜的北西翼，受北东东方向栖霞山—迈高桥断裂控制，宽1—2公里。在栖霞山和北象山见龙王山旋回的安山质集块角砾熔岩覆于西横山组角砾凝灰岩之上，呈线状分布，角砾呈棱角状，砾径1.5-16厘米，分选性较差。

东阳一带的安山质火山岩，可能是该带的东延部分，被右行平移断裂所错开。

4.周冲喷发带

呈带状分布于桦墅—亭子复式向斜核部，长2.5公里，宽约400米，东西向展布，属山间凹槽性质的火山构造。火山岩主要为娘娘山旋回喷发产物。以粗面质的火山碎屑岩为主(其中含假白榴石晶体碎屑)，夹两层熔岩。该火山岩系的顶部和底部均为火山沉积岩，火山碎屑常被沉积物质胶结，说明该带原为山间狭长的水盆地，陆相沉积与火山喷发同时进行。

II、中一东火山岩区*

II₁、中一东区火山岩

主要分布于上党火山岩盆地和句容火山岩盆地边缘，另在亭子、镇江、圌山等地也

删除[miao Gu]: 畴

* 中区和东区的火山岩同属钙碱性岩系，且其成因上的演化关系，故不分区叙述

有出露。火山活动分上党、~~圖~~山两个喷发旋回，其时代分别与西区的姑山、娘娘山旋回大致相当。

(一) 火山喷发旋回及亚旋回划分

1. 上党旋回

上党旋回火山岩层，控制厚度大于2184米。按其岩性特征，可将本旋回分为四个亚旋回(图III-38)。

第一亚旋回以安山岩、石英安山岩类为主，总厚610.22米。以爆发相角砾凝灰岩开始，继而是溢流相安山质熔岩，构成三个相似的韵律。韵律层厚薄不一，厚者达302.48米。最后以喷发—沉积相的沉凝灰岩结束。该亚旋回爆发相较发育，在韦岗钻孔和马鞍山剖面中，爆发相、溢流相、喷发—沉积相各占该亚旋回总厚度的63.84%、33.73%、2.43%。

第二亚旋回以石英粗安质火山岩为主，以爆发相集块岩开始，继之为溢流相石英粗安岩，两者构成了三个韵律，每个韵律层厚度大致相当。爆发相的碎屑颗粒自下而上由粗变细，由集块岩至火山角砾岩，最后以喷发—沉积相的沉火山角砾岩结束，总厚达212.93米。以马鞍山剖面为例，爆发相、溢流相、喷发—沉积相各占该亚旋回总厚的36.4%、24.45%、39.06%。

第三亚旋回由溢流相石英粗面岩构成，岩相岩性单一，但厚度变化较大，马鞍山剖面中该亚旋回火山岩的厚度仅10.54米，而横山—独山剖面中厚度达599.36米。

第四亚旋回以英安流纹质和橄榄玄武质岩浆的相间喷发为特征。该亚旋回以溢流相英安流纹岩开始，继而是爆发相火山角砾岩，稍后是喷发—沉积相的沉火山角砾岩、凝灰质粉砂岩。经短暂间歇后，又发生小规模的玄武质岩浆和英安质岩浆的双模式火山活动。总的来看，该亚旋回可归纳为4个韵律，第1韵律层为溢流相英安流纹岩，厚度大于84.76米；第2韵律层为爆发相英安流纹质火山角砾岩、喷发—沉积相英安流纹质沉火山角砾岩夹凝灰质粉砂岩，厚度272.49米；第3韵律层为溢流相橄榄玄武岩，厚度106.51米；第4韵律层下部为爆发相玄武质、英安流纹质角砾熔岩，上部为溢流相英安流纹岩夹橄榄玄武岩，厚度338.45米。爆发相、溢流相、喷发—沉积相各占该亚旋回总厚度的18.94%、58.89%、22.17%。

总之，上党旋回各类岩相交替出现，韵律性比较明显，溢流相较为发育。从各亚旋回的爆发相岩石所占的厚度比例以及不同岩性分布范围可以看出，本旋回火山活动随时间的推移，喷发强度由强变弱，规模逐渐变小，岩浆性质由中性向酸性方向演化，喷发中心由西向东迁移，该旋回晚期出现酸性岩浆与基性岩浆在同一空间，相间喷发的双模式火由活动

2. 圖山旋回

圖山旋回仅出现在丹徒县大路圖山地区，厚度大于477.64米。该旋回从沉积相开始，形成厚122米的含淡水瓣鳃和孢粉化石的棕褐色含钙粉砂质泥岩、钙质粉砂岩、砂砾岩和灰色凝灰质砂岩；继沉积相之后是溢流相石英粗面岩、碱性流纹岩，厚度达223米；稍后是较大规模的爆发相火山碎屑岩，形成一套碱性流纹质角砾熔岩、含集块角砾岩和火山角砾岩；最后以次火山相流纹岩结束。该旋回中有富钾的碱性流纹岩、膨润土、珍珠岩、沸石、玛瑙等非金属矿产。

(二) 岩石类型及造岩矿物特征

上党、圖山旋回火山岩系的岩石类型比较齐全，种类繁多，归纳于表III-41。

时代	喷发旋回	亚旋回	厚度(米)	岩性柱状剖面	主要岩性名称	主要岩相
早白垩世	固山旋回	四	47.64	>71.95	流纹质火山角砾岩夹凝灰质钙质粉砂岩	爆发相
				>60.63	浅紫灰色碱性流纹质角砾岩	
				91.22	浅紫灰色石英粗面岩、碱性流纹岩	溢流相
				22.15	棕褐色、灰色钙质粉砂岩、粉砂质泥岩、凝灰质砂岩、砂砾岩	沉积相
				281.12	紫红色英安流纹岩夹橄榄玄武岩	溢流相
			2184.75	57.33	玄武质、英安流纹质角砾岩	爆发相
				106.51	灰紫色橄榄玄武岩	溢流相
				177.86	灰白色英安流纹质火山角砾岩夹凝灰质粉砂岩	爆发-沉积相
				94.63	灰紫色英安流纹质火山角砾岩	爆发相
				>84.76	紫灰色英安流纹岩	溢流相
中白垩世	上党旋回	三	2184.75	36.39	紫灰色石英粗面岩	溢流相
				83.16	杂色火山角砾岩	爆发-沉积相
				129.77	紫灰色石英粗安质角砾岩与石英粗安岩互层	爆发-溢流相
				14.88	紫灰色沉凝灰岩	爆发-沉积相
				144.61	紫灰色石英安山质集块角砾岩、角砾岩	爆发相
			230.99	71.49	紫灰色石英安山岩	溢流相
				230.99	紫灰色石英安山质集块角砾岩、角砾凝灰岩	爆发相
				134.31	浅灰色安山岩	溢流相
				13.90	浅灰白色安山质角砾凝灰岩	爆发相

图三-38 中一东区火山活动旋回和岩相柱状图

表三-41 中一东区火山岩系岩石类型

喷发旋回		主要岩石类型			
		熔岩类	火山碎屑岩	沉火山碎屑岩	火山碎屑沉积岩及沉积岩
固由旋回		碱性流纹岩 石英粗面岩	含集块角砾岩、火山角砾岩		凝灰质钙质粉砂岩、凝灰质砂岩、含 钙粉砂质泥岩、钙质粉砂岩、砂砾岩
上党旋回	第四亚 旋回	英安流纹岩 玄武岩	火山角砾岩	沉火山角砾岩	凝灰质粉砂岩
	第三亚 旋回	石英粗面岩			
	第二亚 旋回	石英粗安岩	集块岩、火山角砾岩、角 砾凝灰岩、凝灰岩	沉火山角砾岩 沉角砾凝灰岩	凝灰质泥质粉砂岩、凝灰 质粉砂岩、凝灰质砾岩
	第一亚 旋回	安山岩石 英安山岩	集块角砾岩、火山角砾岩、 角砾凝灰岩、凝灰岩	沉凝灰岩	含砾凝灰质砂岩、凝灰质 粉砂岩

1. 熔岩类

该类岩石有安山岩、石英安山岩、石英粗安岩、石英粗面岩及英安流纹岩、碱性流纹岩等。

(1) 安山岩、石英安山岩

在本区分布最广，见于汤山镇、石山头、亭子、车家边、韦岗、马鞍山等地。岩石种类主要为黑云母安山岩(图版XVII-3)、角闪石英安山岩(图版XVII-4)、辉石石英安山岩等。

岩石呈灰色、紫灰色，风化后呈灰白色，斑状结构，有的为聚斑结构，块状构造。矿物成分及基质结构见表III-42。

表三-42 上党旋回(石英)安山质岩石矿物成分及结构特征

矿物成分 岩石名称	斑晶					基质	
	斜长石	角闪石	辉石	黑云母	石英	含量(%)	结构及成分
安山岩	20			5		75	交织结构，由斜长石、暗色矿物及隐晶 质组成
石英安山岩	8-20	2-10	0-5	0-4	0-5	60-80	玻基交织结构，霏细—微品结构，由斜 长石、暗色矿物、石英组成

(2) 石英粗安岩

该类岩石主要分布在上新庄、东昌街、燕子窝、马鞍山、塔山、上党等地。主要有黑云母石英粗安岩(图版XVII-5)、角闪石英粗安岩(图版XVII-6)、角闪辉石石英粗安岩。

岩石呈浅紫灰色、暗紫灰，风化后呈灰白色，块状构造，斑状结构，有时为聚斑结构。矿物成分及基质结构见表III-43。

(3) 石英粗面岩(图版XVIII-1)

分布于马鞍山、北固山、四明山、横山、大力山及圆山等地。主要有黑云母石英粗面岩、角闪石英粗面岩等。

删除[miao Gu]: VI

删除[miao Gu]: VI

删除[miao Gu]: VI

删除[miao Gu]: VI

表三-43 上党旋同石英粗安质岩石矿物成分及结构特征表

矿物成分 岩石名称	斑晶(%)						基质	
	斜长石	钾长石	辉石	角闪石	黑云母	石英	含量(%)	结构及成分
黑云母石英粗安岩	8-20	0-3	0-2	2-4	6-8	0-1	70-85	霏细—微晶结构、微嵌晶结构，由斜长石、钾长石、玻璃质组成
角闪石英粗安岩	5-18		0-1	5-10	0-3	0-2	70-85	霏细结构、微嵌晶结构、玻璃交织结构，由斜长石，石英、钾长石、暗色矿物、玻璃质组成
角闪辉石石英粗安岩	12-15		5-7	5	0-2	0-1	75-85	微嵌晶结构，由斜长石、长英质组成

岩石呈紫色、紫灰色、斑状结构，有的为聚斑结构，基质为粗面结构(图版XVIII-5)，块状构造或流纹状构造。矿物成分及基质结构见表III-44。

表三-44 中一东区石英粗面质岩石矿物成分及结构特征表

旋回 岩石名称	矿物成分	斑晶(%)					基质	
		钾长石	辉石	角闪石	黑云母	石英	含量(%)	结构矿物成分
陶山	石英粗面岩	5		1-2	0-2	0-1	90-95	粗面结构。由微晶斜长石构成
上党	黑云母石英粗面岩	15	0-少	0一个	5-8	0-1	80-85	霏细结构。由斜长石、玻璃、石英构成
	角闪石英粗面岩	10-15	0-2	5-8	0-1		80-85	粗面微晶霏细结构、微粒—微晶结构。由钾长石、石英、玻璃构成

上述三种岩石皆具斑状结构，有的呈聚斑结构。斑晶多为自形至半自形，具熔蚀现象，熔蚀斑晶一般是石英和斜长石。含辉发分的矿物多数具有暗化反应边，暗化程度以角闪石最强，黑云母次之。石英斑晶一般较小，裂纹发育。矿物多属火山型“高温”变种，即为 β -石英、高温透长石、褐色普通角闪石、红棕色黑云母，及光轴角较大的透辉石—普通辉石。

基质中的结构：安山岩、石英安山岩中一般由斜长石和辉石、角闪石、黑云母、石英与玻璃—隐晶质组成交织—玻基交织结构；石英粗安岩中则多由长英质斑块嵌以斜长石微晶组成嵌晶结构，随着斜长石微晶的大量出现，在石英粗面岩中则形成了粗面结构。总之，熔岩基质结晶程度较差，多为霏细—隐晶质，其成分与各岩类熔岩成分基本相同。有的经过重结晶交代而呈微粒结构。

上述三种岩石的造岩矿物特征如下：

斜长石：普遍具钠长律双晶环带构造，具“麻点状”构造(图版XIX-2)，斜长石牌号An=31—57，安山岩中An=57，而石英安山岩、石英粗安岩中为An=31—38。据斜长石斑晶化学成分(表III-45)分析，属含钾质中长石类。

钾长石：具卡氏双晶和隐约条纹，光轴角较小，可能是高温透长石。

辉石：主要为单斜辉石，见于石英安山岩及石英粗安岩中，自形至半自形晶，短柱状。镜下为无色或略带浅黄绿色，具有以(100)为接合面的简单双晶， $C \wedge Ng = +45^\circ - +50^\circ$ ，常被绿帘石、角闪石交代。

表三-45 上党旋回斜长石斑晶化学成分(%)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	分子数		
									An	Ab	Or
60.40	/	25.33	0.20	0.02	/	6.70	5.4	0.97	38	56	6

角闪石：一般为长柱状，可见近似菱形的六边形横切面，暗化强烈，具有较宽的暗化边，有时整个晶体全部暗化。核心部分常被碳酸盐、绿泥石或绿帘石交代。

黑云母：呈片状，具多色性，Ng=棕褐，Np=浅黄，见微弱暗化边，沿解理常有氧化铁析出。晶体有时被碳酸盐、绿泥石或绿帘石交代。

表III-46表明黑云母中Mg/Fe³⁺+Fe²⁺+Mg+Mn的原子数之比，1号样为0.65，2号样为0.61，均为镁黑云母类，Fe₂O₃/FeO比值，前者为22，后者为1，表明氧化程度相差悬殊，前者为喷出相，经历了强烈的氧化；后者为次火山相，未侵出地表，氧化程度较低，反映了黑云母的氧化率与它们的生成相有一定的关系。因此，可作为岩浆生成环境的指示剂。

表三-46 中一东区火山岩与次火山岩中黑云母化学成分(%)和微量元素含量(ppm)

样号*	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂
	36.84	0.82	17.69	14.29	4.87	0.22	13.75	0.14	0.54	8.59	0.157	1.09	0.46
2	36.85	8.17	8.40	14.53	3.97	0.68	14.01	0.13	0.50	6.82	0.077	4.52	0.14

样号	F	C1	Ba	Cu	Pb	Zn	Be	Bi	Nb	Zr	W	Mo	Sn
	3080	720	10300	30	10	300	0.3	0.3	7	5.0	3.7	0.9	3.6
2	980	290	11900	30	10	370	0.5	0.3	11.5	2.0	5.4	0.8	3.8

*1号样为石英粗安岩(东昌街)；2号样为次石英安山岩(汤山)。

石英：呈粒状，裂纹发育，常被熔蚀成港湾状、新月状等。

(4)英安流纹岩、碱性流纹岩

这两种岩石的分布较局限，英安流纹岩(图版X VIII-2)，见于东贪及圖山，碱性流纹岩仅见于圖山。

岩石呈浅紫色、浅灰紫色，具流动构造，斑状结构。矿物成分及含量见表III-47。

其造岩矿物特征为：

斜长石斑晶具钠长律双晶、卡斯巴律双晶，并普遍发育环带构造。晶体边缘常出现“麻点状”构造，麻点部位的成分与基质相同。An=27—49。圖山英安流纹岩中斜长石斑晶的化学成分(表III-48)，属中一更长石，由内部至边部钙长石分子减少，钠长石分子增加，K₂O的含量略有增长。

钾长石具卡斯巴律双晶，粒径一般在0.54×0.66—0.63×1.53毫米，表面裂纹发育，具熔蚀现象。

表三-47 中-东区流纹岩的矿物成分及结构特征

岩石名称 喷发旋回	矿物成分	斑晶(%)					基质	
		钾长石	斜长石	角闪石	黑云母	石英	含量(%)	结构及成分
圖山	碱性流纹岩	2-5		0-5	0-4	0-1	90-97	霏细结构、微粒—微晶结构，由钾长石、暗色矿物、长英质组成
上党	英安流纹岩	0-4	3-15	2-3	0-2	个别	85-94	霏细结构、微粒—微晶结构，由斜长石、钾长石、暗色矿物和石英组成

表三-48 英安流纹岩中斜长石斑晶化学成分

部位	成分 (%)	分子数										
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	An	Ab
内 部	59.65	0.03	25.19	0.21		6.22	7.38	0.48	0.04	31	66	3
边 缘	61.34	0.04	25.23	0.17	0.01	5.80	7.60	0.49		29	68	3

*江苏地矿局地研所, 1983资料

角闪石: 一般为长柱状, 可见近于菱形的六边形横切面, 并已暗化, 有时被绿帘石交代。

黑云母: 呈褐—褐黄色多色性, 暗化边较宽。

石英: 呈粒状, 往往被熔蚀成浑圆状或港湾状。

(5)橄榄玄武岩

仅见于东贪和圈山的钻孔中, 呈层状夹于英安流纹岩中。

岩石为黑绿色、浅紫色。具有气孔构造, 岩层的顶、底部尤为发育。斑状结构, 橄榄石斑晶含量占全岩的10%左右。基质由斜长石、橄榄石、普通辉石、磁铁矿、方解石等组成, 呈间粒结构(图版X VIII-3)。

综上所述, 上党旋回各类中一酸性熔岩的矿物成分及结构特征具有许多共性, 大致反映岩浆喷发过程中, 由中性向酸性的演化趋势, 形成了安山岩、石英安山岩—石英粗安岩—石英粗面岩—英安流纹岩系列。该旋回晚期出现的橄榄玄武岩, 从矿物学和岩石学的资料来看, 与上述中一酸性岩浆不具演化关系, 可能来自不同岩浆源, 是双模式火山活动的产物。

圖山旋回的熔岩与上党旋回第三、四旋回的熔岩有类似之处, 但更富酸性和碱性, 形成了石英粗面岩—碱性流纹岩系列。

2.火山碎屑岩

中—东区火山碎屑岩包括火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩三类。现仅列举前两类岩石。

(1)火山碎屑岩

此类岩石按碎屑粒径分为火山集块岩、火山角砾岩及凝灰岩三种。

①火山集块岩: 主要分布于马鞍山、圖山等地。岩石中集块级碎屑含量达40—50%,

块径大小不等，大者50—70厘米，小者10—15厘米，一般为20—40厘米，有的集块形似火山弹，呈眼球状、凸透镜状。角砾含量占30%，大小一般在3—10厘米，凝灰质胶结。

(2)火山角砾岩：主要见于东昌街、馒头山、石山头、马鞍山·东贪、圖山等地。呈角砾结构，角砾级碎屑含量一般为40—60%，粒径为2—47毫米。碎屑呈棱角状一次棱角状，由岩屑和晶屑组成(表III-49)，胶结物为火山微尘。

表三-49 中一东区火山角砾岩碎屑成分及含量

喷发旋回	地点	碎屑成分	含量(%)
圖山旋回	圖山	岩屑：流纹岩、少量碱性流纹岩、英安流纹岩及玄武岩 晶屑：斜长石、石英、黑云母	角砾60
	圖山	岩屑：碱性流纹岩及少量英安流纹岩 晶屑：钾长石、石英	集块5-10 角砾40-50
上党旋回	东昌街	岩屑：石英粗安岩、石英安山岩 晶屑：斜长石、黑云母、石英、角闪石 玻屑：	角砾40-80
	石山头	岩屑：石英安山岩 晶屑：石英、斜长石、黑云母	集块5 角砾65

(3)凝灰岩：主要见于亭子、东昌街、马鞍山、车家边、石山头等地，产于上党旋回及离山旋回中。主要有岩屑凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩、晶屑凝灰岩、角砾凝灰岩等，具凝灰碎屑结构，凝灰级碎屑的含量大于60%，碎屑粒径一般为0.2—1.8毫米，呈棱角一次棱角状，碎屑由岩屑、晶屑、玻屑组成。碎屑成分主要与各地喷发旋回所见熔岩成分大致相当。胶结物为细小火山灰或火山尘(图版X VIII-6)。

(2)沉积火山碎屑岩

按碎屑物的粒级可以分为沉火山角砾岩和沉凝灰岩两种。

沉火山角砾岩主要见于亭子、马鞍山及圖山，产于上党旋回中。角砾结构，角砾含量大于40%，呈次棱角状一次圆状。碎屑由岩屑和晶屑组成，岩屑为石英安山岩、石英粗安岩、英安流纹岩，晶屑主要为斜长石和少量石英，胶结物为石英砂屑、粘土矿物、碳酸盐及少量铁质(图版X VIII-4)。

沉凝灰岩主要见于石山头、陆家边、马鞍山等地，呈层状产于上党旋回中。岩石呈凝灰结构，凝灰级碎屑含量约60—85%，粒径0.35—1.5毫米，次棱角一次圆状。碎屑有岩屑和晶屑两种，岩屑为石英安山岩、石英粗安岩；晶屑为石英、斜长石。胶结物为粘土类矿物和碳酸盐。

(三)副矿物特征

1.副矿物组合：上党旋回火山岩为磁铁矿—磷灰石—锆石型；圖山旋回火山岩则为磁铁 | 删[miao Gu]: 圆矿—锆石型。

2.副矿物成分：上党旋回主要含磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、锆石、磷灰石及个别的碳硅石和金红石。其含量变化幅度较大，磁铁矿从6克/吨—3016克/吨，多数在400克/吨以下；锆石多数为20—40克/吨；磷灰石变化也大，可以从个别到959克/吨。圖山旋回主要含磁铁矿(50 | 删[miao Gu]: 圈—327克/吨)，赤铁矿和褐铁矿(131—686克/吨)、锆石(2—9克/吨)，少量

磷灰石。两旋回中均含少量锐钛矿、榍石、刚玉、方铅矿、重晶石等。

删除[miao Gu]: 榴

3. 锆石特征：晶体呈浅黄色、浅棕色、玫瑰色，透明一半透明，普遍含黑色矿物和气泡包裹体，多为棱角状，少数为次棱角状、半浑圆状。长短轴之比一般为2:1—3:1，少数达6:1。常为多种单形组成的聚形晶体(图III-39)，随着时代由老至新和岩石由中性至酸性，锆石晶体趋于简单。上党第一亚旋回的锆石晶形最复杂，以(444)、(442)型为主，柱面和锥面均由两种以上的单形组成；第二亚旋回的晶形较复杂，以(244)、(243)型为主，但少数为较简单的晶形，如(15)和(342)型；第四亚旋回出现了较多的(311)型的简单四方锥柱体；湍山旋回的锆石，则以简单晶形(35)、(311)型为主。

喷发回		上 党 旋 回				圈山旋回	
亚旋回		一	二	三	四		
岩石名	称	石英安山岩	石英粗安岩	石英粗面岩	英安流纹岩	碱性流纹岩	
锆石	主						
	次						

图三-39 中一东区火山岩锆石晶形

锆石化学成分(表III-50)，采用分子式计算，锆石中ZrO₂含量为61.5%，HfO₂含量约1.2%。

表三-50 上党旋回火山岩中锆石化学成分(%)

岩石类型	样品数	HfO ₂ /ZrO ₂	Fe	Al	Ca	Mg	Y	SiO ₂
石英粗安岩	6	1/54	0.26	0.13	1.5	0.38	0.16	35
石英安山岩		1/52	0.25	0.15	1.0	0.4	0.15	35

(四) 岩石化学特征

中一东区火山岩化学成分(表III-51)。按分异指数标定的分异程度明显地分为三个阶段(图III-40)：

1. 分异指数(DI)40—50，为上党旋回的玄武岩，它与上党旋回的中一酸性火山岩之间有较大的间隔。与之共生的英安流纹岩的DI值为80左右，两者分异指数相差如此之大，而中间没有过渡成分，说明二者之间不是同源分异关系。

表三-51 中一东区火山岩岩石化学成分

喷发旋回	亚旋回	岩石名称	样品种数	氧化物%							
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
圈山旋回		碱性流纹岩	4	71.23	0.22	13.14	1.49	1.36	0.039	0.25	0.63
上党旋回	四	英安流纹岩	10	68.72	0.34	14.21	2.94	0.34	0.042	0.94	2.33
		·橄榄玄武岩	5	51.11	1.15	16.72	6.15	2.47	0.124	5.29	7.46
		石英粗面岩	1	67.68	0.32	16.04	2.00	0.61	0.011	0.37	0.49
		石英粗安岩	9	63.49	0.51	15.21	4.09	0.64	0.059	2.03	3.59
		石英安山岩	8	61.98	0.56	16.54	4.15	0.77	0.08	1.46	3.82

喷发旋回	亚旋回	岩石名称	样品种数	氧化物%						
				Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	△ ⁻	总量
圈山旋回		碱性流纹岩	4	1.02	8.82	0.07	0.85	0.33		99.45
上党旋回	四	英安流纹岩	10	3.32	4.13	0.13	1.43	0.51	1.38	99.38
		·橄榄玄武岩	5	4.10	1.86	0.57	2.18	0.20	1.94	99.38
		石英粗面岩		3.92	6.61	0.13	1.38	0.03		99.59
		石英粗安岩	9	3.59	3.48	0.24	1.09	0.37		98.75
		石英安山岩	8	5.46	2.60	0.34	1.19	0.32	0.99	99.28

△⁻为烧灼

2. 分异指数为65-85.是上党旋回中一酸性火山岩投影点的分布区间。尽管这个区间跨度较大，但其中的投影点是连续的，说明它们之间具亲缘的演化关系，是同源岩浆不同阶段的产物。但需指出，该旋回的石英粗面岩的DI值>90，投在圈山旋回的区间内，说明在上党旋回火山岩分布范围内，可能尚有圈山旋回的喷发物，有待进一步划分和圈定。

3. 分异指数(DI)90—95是周山旋回火山岩投影点的分布区间。它与上党旋回的投影点有一定的间隔，说明二者是两个不同演化阶段的产物，或者岩浆来源有一定的差异。

主要化学成分的变异特征如下：

SiO₂: 大部分投影点落在桑顿—塔特尔等值线的极密线之下，说明与同等分异程度的世界岩浆岩的SiO₂相比，本区普遍偏低。

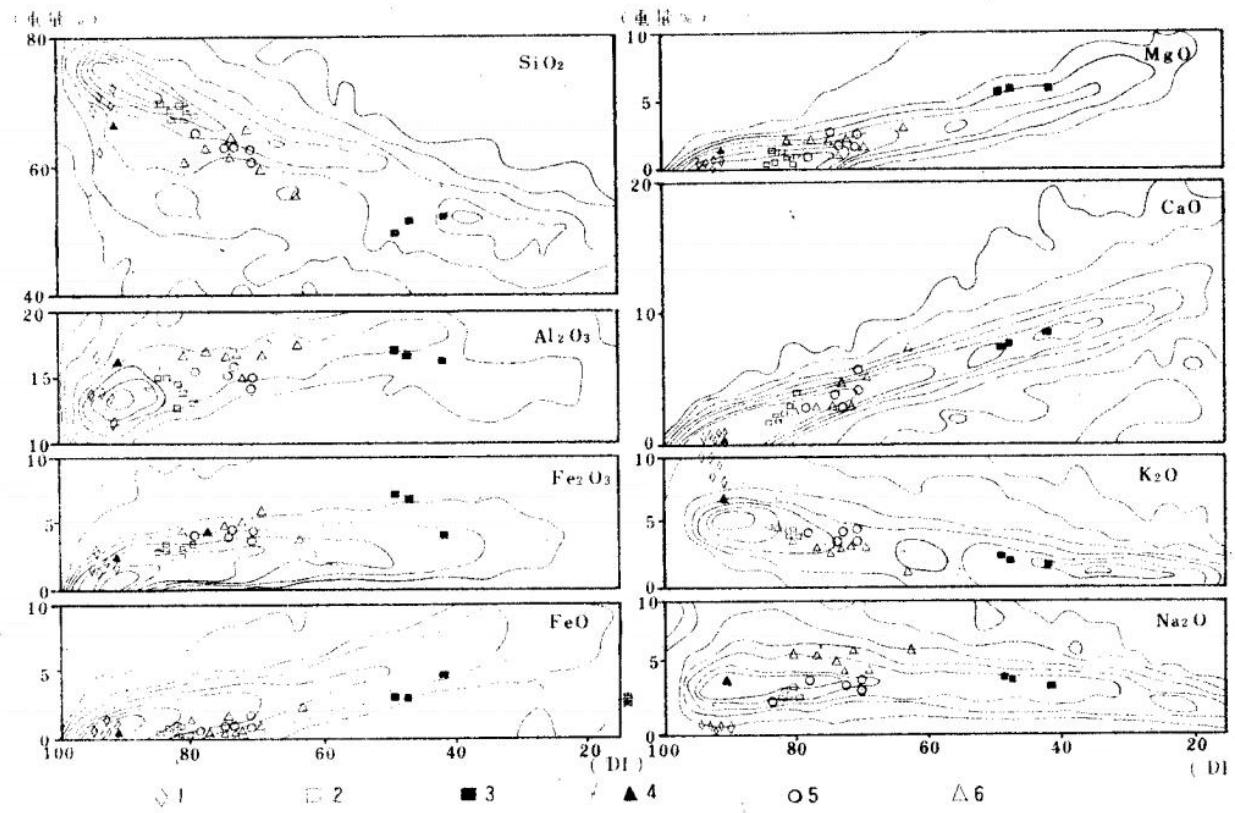
Al₂O₃: 投影点较分散，说明岩石中Al₂O₃的含量不稳定。

Fe₂O₃和FeO: 前者投影点分布在极密脊线之上，后者在极密脊线之下，而且每一个样品的Fe₂O₃投影点偏高的程度与FeO投影点偏低的程度相近，说明全铁含量与世界同类岩石基本相当。

MgO: 上党旋回中玄武岩的投影点显著偏高，以富镁为特征。中酸性岩类投影点，一

删除[miao Gu]: 圈

删除[miao Gu]: 圈



图三-40 中一东区火山岩化学成分与分异指数相关图

1. 照山旋同碱性流纹岩；2. 上党旋回英安流纹岩；3. 上党旋回橄榄玄武岩；
4. 上党旋同石英粗面岩；5. 上党旋回石英粗安岩；6. 上党旋回石英安山岩

般适中，部分偏高。

CaO : 多数投影点分布于等密线的高值区，即与世界值相当。

K_2O : 上党旋回投影点均在极密脊线附近，含量正常。周山旋回投影点的位置特别高，有些样品含量>10%，投影点已出图廓。说明周山旋回以富钾为特点。

Na_2O : 上党旋回玄武岩的投影点落在极密脊线上，与世界值一致；上党旋回第一亚旋回投影点明显地高于极密脊线之上，说明富含钠质；第二、三亚旋回投影点分布于等密线的高值区，平均值投影点落在极密脊线上，即含量适中；第四亚旋回英安流纹岩的投影点位于极密脊线之下，含量低于世界平均值；周山旋回的投影点均明显的低于极密脊线，是贫钠的表现。由此可见，随着岩浆演化，从上党旋回至周山旋回，由富钠向贫钠发展。

上述主要元素氧化物的变异趋势在图III-40中反映极为明显，随着时间的推移， SiO_2 、 K_2O 逐步增长，尤其 K_2O 在岩浆演化的晚期，急剧上升。 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Al_2O_3 和 Na_2O 逐步下降，尤以 Na_2O 下降的速率最大。因此，中一东区中酸性火山岩化学成分变化的最显著特征是由富钠贫钾向富钾贫钠演化(表III-52)，与燕山晚期的中一酸性侵入岩的演化特征完全一致。

中一东区火山岩的钙碱指数为56.75%，里特曼指数2.16—4.49，总体上属钙碱性岩系

(五) 微量元素特征

中一东区火山岩的微量元素含量(表III-53)较高者有，橄榄玄武岩中的Ba、Sr、Be；石英安山岩、石英粗安岩和石英粗面岩中的Ba、Cr；碱性流纹岩中的Pb、Mo。它们的丰

删除[明 O(∩_∩)O 明]:

表三-52 东区火山岩碱度特征值

喷发旋回	亚旋回	岩石类型	里特曼指、数		钾质指数	碱钙指数
			变动范围	平均值		
圖山		碱性流纹岩	2.62-4.90	3.49	0.90	
上党	四	英安流纹岩	1.80-2.68	2.16	0.55	56.75
		橄榄玄武岩	3.08-6.42	4.38	0.31	
		石英粗面岩		4.49	0.63	
		石英粗安岩	2.48-3.10	2.69	0.44	
		石英安山岩	2.41-5.64	3.42	0.32	

表三-53 中一东区火山岩微量元素含量(ppm)及丰度系数

元素	圖山旋回		上党旋回									
			第四亚旋回				第三亚旋回		第二亚旋回		第一亚旋回	
	碱性流纹岩		橄榄玄武岩		英安流纹岩		石英粗面岩		石英粗安岩		石英安山岩	
含量	丰度系数	含量	丰度系数	含量	丰度系数	含量	丰度系数	含量	丰度系数	含量	丰度系数	含量
V	42	1.50	138	0.69	43	1.08	75	0.85	72	0.82	84	0.95
Zr	251	J. 26	142	1.42	174	0.87	194		176		147	
Ga	3	0.65	12	0.67	12	0.60	15		17		19	
Sn	1.2	0.40	2.8	1.87	2.5	0.83	1.5	1.32	1.5	1.32	1.2	1.05
Cu	17	0.85	49	0.49	27	1.35	13	0.50	18	0.69	30	1.15
Pb	45	2.25	8	1.00	13	0.65	19	1.27	19	1.27	27	1.80
Zn	19	0.32	88	0.68	33	0.55	13	0.23	18	0.32	34	0.61
Co	3.6	0.72	29	0.64	4.0	0.80	1.3	0.19	3.1	0.44	4.0	0.57
Ni	11	1.38	66	0.41	10	1.25	12	0.80	19	1.27	17	1.13
Mo	2.3	2.30	1.6	1.14	1.6	1.60	0.8	0.67	0.3	0.25	0.6	0.50
Cr	45	1.80	131	0.66	23	0.92	144	6.55	80	3.64	76	3.45
Ba	1340	1.61	1005	3.35	2321	2.80	1325	2.94	1623	3.61	1398	3.11
Sr	124	0.41	1865	4.24	1460	4.87	248	0.56	701	1.59	779	1.77
Be	1.2	0.22	1.5	3.75	1.8	0.33	1.3		3.2		1.4	

度系数都>2，属于富集元素，其中尤以Ba突出，在各类岩石中的含量均>1000ppm，Cr的地球化学行为反常，它的最高值出现在石英粗面岩中，而橄榄玄武岩中含量仅131ppm。

(六) 稀土元素特征

表三-52 东区火山岩碱度特征值
喷发旋回
亚旋回
岩石类型
里特曼指、数
钾质指数
碱钙指数

变动范围
平均值

圖山
碱性流纹岩
2.62-4.90
3.49
0.90

56.75
上党
四
英安流纹岩
1.80-2.68
2.16
0.55

橄榄玄武岩
3.08-6.42
4.38
0.31

中—东区火山岩的稀上元素(表III-54)，在上党旋回中，各类岩石所组成的模式曲线形态很相似(图III-41)，并与该区中酸性侵入岩的模式曲线基本一致，说明火山岩与侵入岩是同源不同相的产物，各亚旋回火山岩间的关系是同源不同阶段的喷发产物。

表三-54 中—东区火山岩稀土元素含量(ppm)及特征值

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hb	Er	Yb	Lu	Σ REE	$\frac{\Sigma IREE}{\Sigma HREE}$	δEu
1	54.37	93.49	9.70	32.36	5.30	1.33	4.31	0.83	3.23	0.74	1.23	1.69	0.25	209.33	15.38	0.94
2	46.46	78.78	8.08	27.70	4.34	1.09	3.56		2.47	0.44	1.24	1.12	0.17	175.43	18.49	0.86
3	42.96	83.50	8.22	29.82	4.91	1.40	4.04	0.01	2.54	0.45	1.26	1.03	0.16	180.32	18.00	0.96
4	44.53	71.80	7.55	25.55	3.93	0.95	3.19		2.24	0.41	.13	1.08	0.17	162.52	18.80	0.80
5	42.27	91.35	7.75	26.44	4.11	0.99	3.20	0.42	2.28	0.41	1.27	1.03	0.16	181.68	19.72	0.82
6	29.80	53.05	5.72	20.03	8.17	0.89	2.53		1.67	0.29	0.87	0.72	0.1	118.83	18.20	0.94
7	50.53	98.29	8.84	30.47	4.89	1.32	6.06	0.96	3.02	0.86	0.95	1.47	0.22	207.88	14.35	0.75
8	45.63	75.75	7.56	24.96	3.90	0.97	3.80	0.67	2.25	0.54	0.72	1.09	0.15	167.99	17.22	0.77
9	30.82	38.51	5.49	23.23	5.30	1.66	5.81	1.20	4.48	0.90	2.89	2.03	0.30	112.69	5.37	0.91
10	34.63	54.34	7.46	31.70	7.51	2.70	8.32	1.47	6.40	1.17	3.15	2.07	0.27	161.19	6.05	1.05
11	35.13	70.87	7.54	28.79	5.59	1.72	5.93	0.94	4.38	0.89	2.49	2.05	0.29	166.60	8.82	0.91

1.英安流纹岩(东贪);2.石英粗安岩(平均值);3.石英安山岩(平均值);4、次石英粗面岩(四平山);5.次石英粗安岩(秃山);6.次石英安山岩(湾山);7.有英粗面岩(圆面);8.碱性流纹岩(图山);9.辉绿岩(铁心桥);10.橄榄玄武岩(鹿山庵);11.橄榄玄武岩(东贪)

图山旋回火山岩的稀土元素组成模式，也是向右倾斜的曲线，轻稀土元素部分较为平滑，与上党旋回极为相似，但重稀土元素部分为起伏较大的折线，说明它们的稀土元素地球化学特征上有一定的差异。

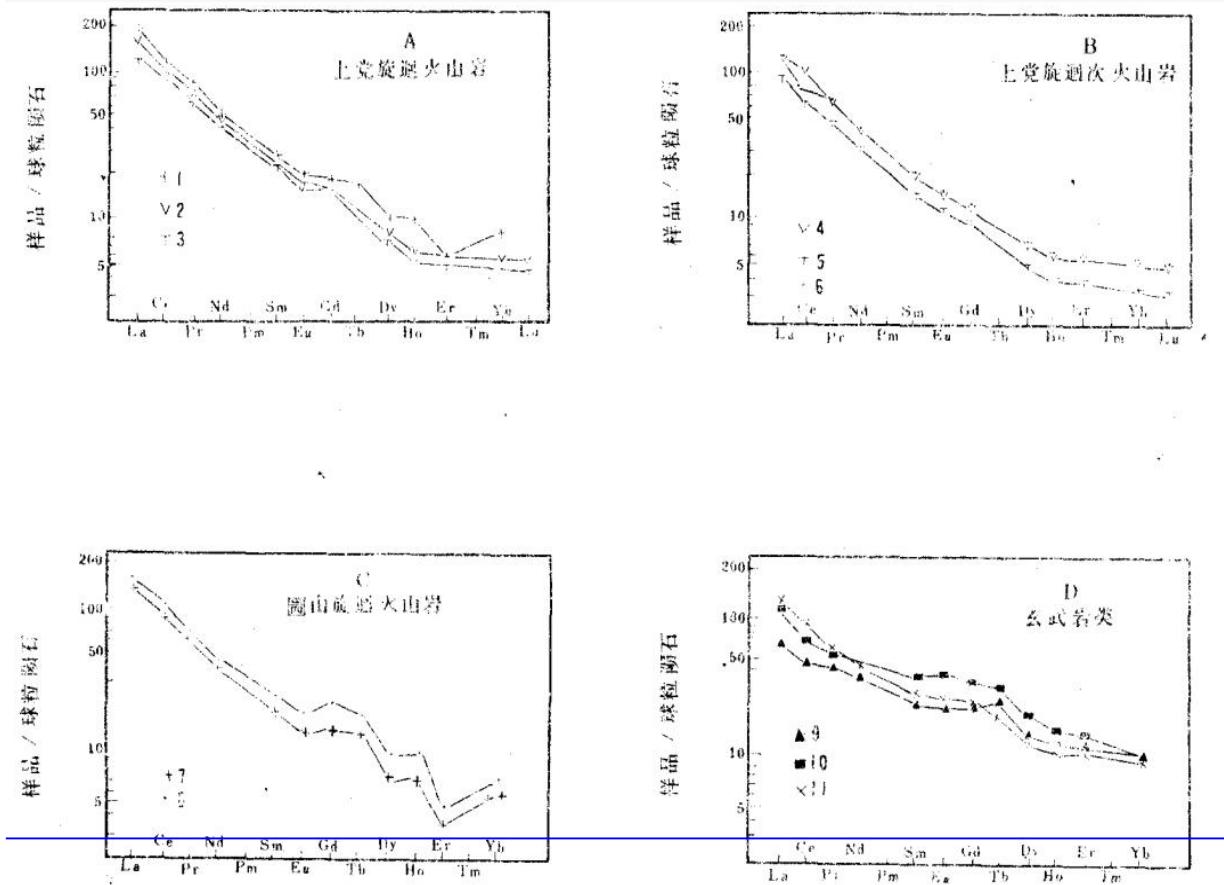
稀土元素总量：上党旋回为175—209ppm，其中，第一亚旋回石英安山岩为180ppm，第二亚旋回石英粗安岩为175ppm，属第三亚旋回的次石英粗面岩为162ppm、这样，由第一亚旋回至第三亚旋回稀土元素总量有降低的趋势，与侵入岩中稀土元素演化一致。但第四亚旋回英安流纹岩的稀土元素总量达209ppm，为火山岩中的最高值，并与图山旋回火山岩稀上元素总量(168—208ppm)高的特征有相似之处。

轻稀土元素(Σ REE)与重稀土元素(Σ HREE)的比值：上党旋回为15-18.8，图山旋回为14—17，均以富集轻稀土元素为特征，反映在模式图上为向右陡倾斜的曲线(图III-41)。相比之下，图山旋回略富重稀土元素。

铕元素略有亏损，上党旋回 δEu 为0.86—0.96，与中酸性侵入岩相当，属弱亏损型。调山旋回 δEu 为0.75-0.77，属中等亏损。

II₂、中—东区次火山岩

宁镇山脉中—东段是隆起区，剥蚀强烈，超浅成相的次火山岩大部分已遭剥蚀，仅部分地区有残留。其中有属上党旋回的馒头山、汤山次石英安山岩(或称次石英闪长玢岩)、腊里山、秃山、陈家边的次石英粗安岩，四平山、横山次石英粗面岩等；属图山旋回的仅有图山次流



图三-41 中一东区火山岩稀上元素组成模式

1. 英安流纹岩；2. 石英粗安岩；3. 石英安山署；4. 次石英粗面岩；5. 次石英粗安岩；6. 次石英安山岩；

7. 石英粗面岩；8. 碱性流纹岩；9. 辉绿署(铁心桥)；10. 橄榄玄武岩(鹿山庵)；11. 橄榄玄武岩(东贪)

纹岩和珍珠岩。

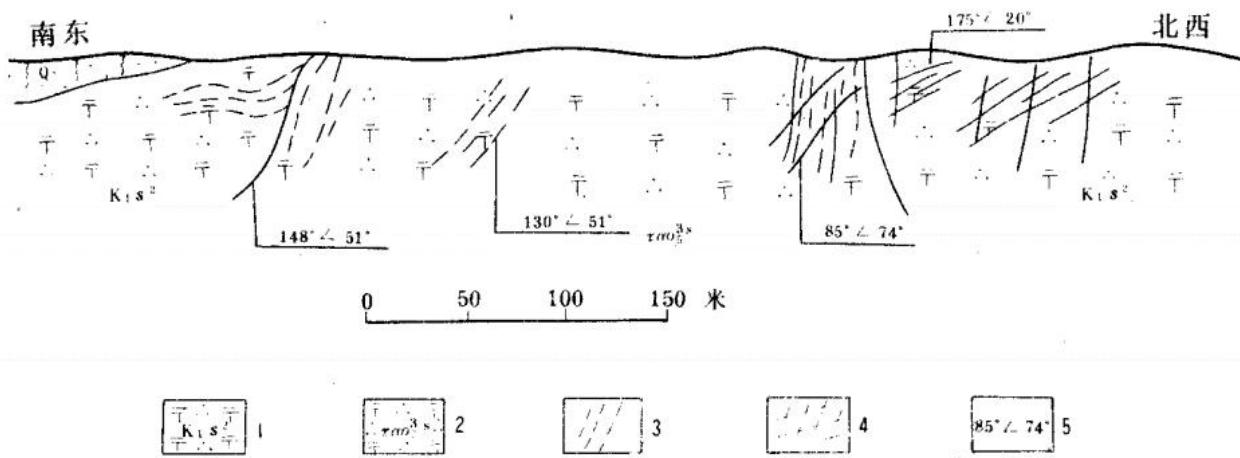
(一) 次火山岩体的一般地质特征

区内次火山岩主要侵入于火山岩系，少数侵入于前火山岩系地层中。其活动时间与相应各旋回的火山岩同时或稍晚，但多数在相应旋回(亚旋回)晚期侵入，它们多呈岩脉、岩墙、岩筒、岩镰、岩枝等形态产出。岩体大小不一，面积小者数十平方米，大者1.5平方公里，侵入深度一般也不大，根据火山岩系厚度推算，侵入于火山岩系中的一般为0.5—1.0公里。其结构构造与火山岩极为相似；侵入于前火山岩系地层中的岩石结构稍粗。侵入深度可能稍深。

本区的次火山岩大致可以根据以下特征来鉴别：①次火山岩体的界面常切割火山岩的流线、流面，使火山岩的流动构造截然中断；②在次火山岩一侧常有不甚明显的淬火边，淬火边中斑晶小而少，基质细，甚至出现玻璃质结构；③次火山岩体一侧有较陡的流动构造，主要表现为斜长石和暗色矿物呈定向排列，当产状平缓的火山岩层中出现较陡的流动构造时，是识别次火山岩的很好标志(图III-42)；④在次火山岩体边部常见平行接触面的密集的“L”节理，使岩石呈薄板状裂开。

(二) 岩石类型及造岩矿物特征

(1) 上党旋回次火山岩有石英安山质、石英粗安质、石英粗面质三类，各类代表性岩石的矿物成分列于表III-55。



图三-42 陈家边次火山岩体剖面图

1. 石英粗安岩；2. 次石英粗安岩；3. 流面；4. 节理；5. 产状(倾向/倾角)

表三-55 上党旋回次火山岩主要岩石矿物成分

地点	岩石名称	斑晶(%)					基质	
		钾长石	斜长石	角闪石	黑云母	石英	含量%	结构及成分
四平山	次石英粗面岩	5	5		3	少	87	微晶结构，由钾长石及斜长石组成微嵌晶结构
陈家边	次石英粗安岩		10	3	2	3	80	由长英质和斜长石组成微嵌晶结构
腊里山—西山	次黑云母石英粗安岩		10-15	4	6	少	75-80	由长英质斑块和斜长石组成
汤山	次石英安山岩		18	3	4		75	玻品交织结构、微晶结构，由斜长石、玻璃质组成

各类次火山岩皆具斑状结构或聚斑结构，基质多具微晶结构，微嵌晶结构，少数为玻晶交织结构。

造岩矿物特征如下：

斜长石：斑晶为近于火山型的高温斜长石，环带构造发育，牌号随岩性的差异有所不同，次石英安山岩An=47，次石英粗安岩An=35，次石英粗面岩An=25。

角闪石：呈长柱状，棕色，具较窄的暗化边，核部常被绿泥石交代。

黑云母：黄至暗棕色，多色性显著，基本上无暗化边或暗化边微弱。

钾长石：斑晶仅见于次石英粗面岩中，具卡斯巴律双晶，有些颗粒中包有斜长石，常见绢云母化、高岭土化及碳酸盐化。

石英：斑晶为不规则粒状，普遍被熔蚀。

(2) 地山旋回的次火山岩有次流纹岩和珍珠岩，岩石为暗紫色、墨绿色、黑色，流纹构造较发育(图版X IX-3)，有些具珍珠构造(图版X IX-5)，斑晶结构或碎斑结构。斑晶有更一中长石(8—10%)，黑云母(5%)和石英(1—2%)。斜长石环带构造发育；黑云母无暗化边—微弱暗化边；石英有熔蚀现象。基质为玻璃结构，局部重结晶为长英质斑块或具定向排列的微晶，有的具隐球粒构造(图版X IX-4)。

(三) 副矿物特征

中—东区次火山岩副矿物主要有磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、磷灰石、锆石(表III-56)，随时间的发展，铁矿物(磁铁矿+赤铁矿)、磷灰石、锆石的平均含量均有减少的趋势。

表三-56 中—东区次火山岩中副矿物含量(克/吨)

喷发 旋回	亚 旋 回	岩石名称	采样 地点	磁 铁 矿 。	柘 榴 石	赤 铁 矿	锆 石	黄 铁 矿	磷 灰 石	矽 硅 石	金 红 石	锐 钛 矿	榍 石	电气 石	其 它
圈山 旋回		次流纹岩	五峰山	573	全	374	13.2	76.7	11.7	少	全				
		次流纹岩 (具珍珠构造)	龟山头	101		618	1.5	0.7	7.3	少	全				
		次流纹岩 (具珍珠构造)	五峰山	70	全	32	7.8	10.3	1.5	少					
上党 旋回	三	次石英粗面岩	四平山	21	少	1808	18.3	1.0	6.2	全	全		1.2		
	二	次石英粗安岩	燕子窝	1455	少	392	46.3	少	7.3	全	全	少			
		次石英粗安岩	东古山	3000		456	49.1	1.3	117			全	0.4		尖晶石
	二	次石英粗安岩	西山	5620	少	13	24.6	3.9	29.8	全	全	全	全	3.4	钛铁矿
		次石英安山岩	亭子南	3198		9	56.5	少	98.2						重晶石 孔雀石
		次石英安山岩	汤山	5652		微	20.4	8.0	640			全		微	孔雀石 黄铜矿

锆石特征(图III-43): 上党旋回次火山岩的锆石晶形以(244)、(243)、(444)型为主，呈浅棕色、浅黄色，透明，次棱角一半浑圆状，普遍有气泡和黑色矿物包裹体；圈山旋回次火山岩的锆石晶形以(35)型为主，锥体仅由(311)和(131)偏锥面组成，长短轴之比较小，多为短柱状，浅黄色、浅肉红色，透明一半透明，次棱角一半浑圆状，普遍含气泡。

(四) 岩石化学特征

中—东区次火山岩的化学成分随着岩浆演化具有稳定的变异趋势(表III-57, 图III-44)。SiO₂和K₂O逐渐上升，基性组分Fe₂O₃+FeO、CaO、MgO和TiO₂逐步下降，Na₂O和Al₂O₃的变异线略有绕曲，但总体上趋于下降。

次火山岩的酸度比相应旋回的火山岩偏高，以标准矿物Q值为例：石英安山岩为11.51. 次石英安山岩为16.43：石英粗安岩为18.81，次石英粗安岩为18.86：流纹岩为28.32，次流纹岩为33.92。说明由喷出至次火山岩相侵入的过程中，岩浆不断向酸性方向演化。

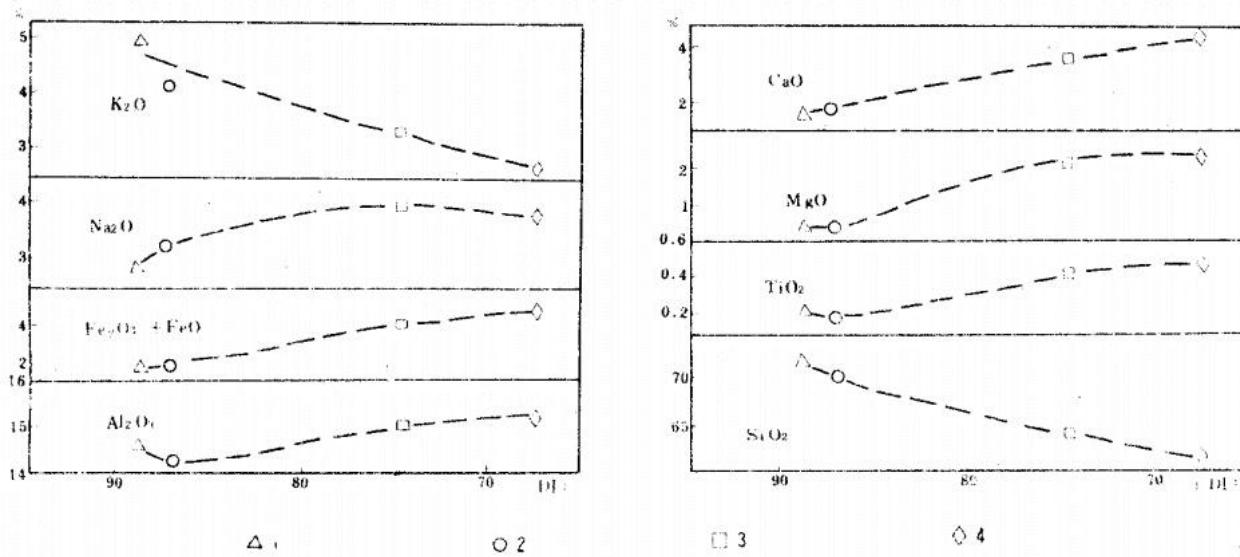
这两个旋回次火山岩碱度比较稳定，里特曼指数变化范围很少，为2.12—2.59。在钙碱指数图上，Na₂O+K₂O和CaO的变异线，几乎呈直线状(图III-45)，钙碱指数为57.6，比相应火山岩的钙碱指数(56.75)略高，同属钙碱系列。碱质中Na₂O与K₂O的变化很有规律，钾质指数(K₂O/K₂O+Na₂O)由老到新逐渐增长，上党旋回为0.41—0.46，圈山旋回为0.56—0.64，说明岩浆演化向钾方向发展。

旋回		圖山旋回		上党旋回							
亚旋回											
岩石称		次流纹岩 (具珍珠构造)	次石英粗面岩	次石英粗安岩	次石英安山岩						
采样地点		圖山		四平山	燕子窝	腊里山	鸿山	汤山			
锆石主要				311 111 100 131 110 〔35〕	311 111 100 131 110 〔444〕	311 111 100 131 110 〔244〕	311 111 100 131 110 〔444〕	311 111 100 131 110 〔243〕	311 111 100 131 110 〔244〕		
				311 111 100 131 110 〔442〕	311 111 100 131 110 〔144〕						
晶形要				311 111 100 131 110 〔241〕	311 111 100 131 110 〔41〕		311 111 100 131 110 〔144〕				
				311 111 100 131 110 〔243〕	311 111 100 131 110 〔442〕						
颜色		浅黄色	浅黄色	浅黄色	淡棕色	淡玫瑰色	淡棕色	浅棕色	淡褐色		
		浅肉色	浅肉色	浅肉色	无色	玫瑰色	肉红色	淡米黄色			
透明度		透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明		
		半透明	半透明	半透明	半透明	透明	半透明	透明	透明		
溶蚀程度		半棱角状	半棱角状	半棱角状	半浑圆状 具晶面 熔蚀凹坑	半棱角状 半浑圆状 熔蚀凹坑	半浑圆状 晶面 凹坑蚀象	棱角状	棱角状		
包体		气泡	气泡	气泡 细粒状 包体	黑色包体	气泡	气泡	气泡	气泡		
长短轴比		1:3 1:2 1:3.5	1:2 1:2 1:3	1:2 1:2.5 1:3	1:2 1:2.5 1:3	1:2 1:2.5 1:3	1:1.5 1:2 1:2	1:2.5 1:4 1:5.5	1:2.5 1:4 1:5.5		
其它				双晶		连晶、摸晶	双晶、金晶				

图三-43 中一东区次火山岩中锆石晶形特征

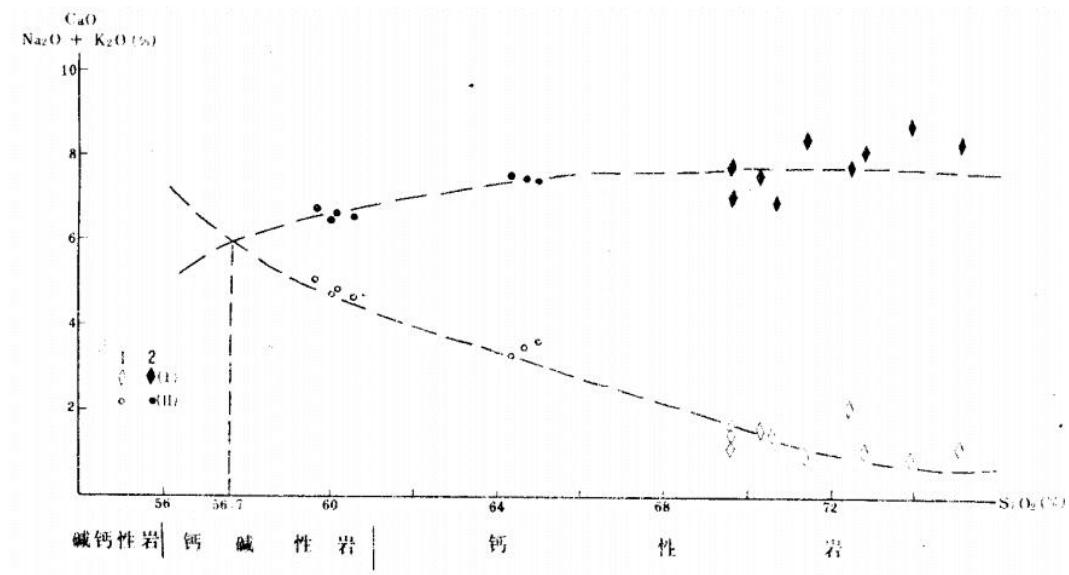
表三-57 中一东区次火山岩化学成分(%)

喷发 旋回	岩石类型	样 品 数	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O	其它	总量
圖山	珍珠状次流纹岩	4	70.33	0.20	14.16	0.51	1.06	0.027	0.37	1.64	3.39	4.24	0.067	3.32	0.11	99.42
	次流纹岩	3	73.22	0.20	14.88	0.10	1.11	0.01	0.22	1.16	2.83	5.18	0.05	0.67		99.63
上党	次石英粗安岩	2	64.61	0.44	15.04	1.98	2.18	0.06	2.07	3.47	4.06	3.42	0.234	1.65	0.55	100.30
	次石英安山岩	3	60.06	0.53	15.24	3.31	1.71	0.078	2.16	4.79	3.88	2.66	0.25	2.40	3.70	100.77



图三-44 中一东区次火山岩化学成分变异图

1. 珍珠状次流纹岩；2. 次流纹岩；3. 次石英粗安岩；4. 次石英安山岩



图三-45 中一东区次火山岩钙碱指数

I圖山旋回；II上党旋回

1. CaO ; 2. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

(五) 微量元素特征

中—东区次火山岩微量元素含量(表III-58)随着时间由早—晚，在岩浆由基性—酸性分异过程中，V、Co、Cu递减。次石英安山岩的Cu、Pb、Zn较富，尤以Cu最突出，其含量是中性岩类维氏值的3倍。基性岩浆元素V、Co、Ni等与维氏值相比均偏低。Cr在次流纹岩中含量最高，为维氏值的3倍，这是一个反常现象，亲石元素Ba的含量普遍高于维氏值3—4倍。

表三-58 次火山岩微量元素含量

喷发 旋回	亚 旋 回	岩石名称	样 品 数	主要元素平均含量(ppm)							
				V	Zr	Ga	Sn	Cu	Pb	Zn	Co
圆山 旋回		次流纹岩	4	28	243	12	1.5	5	38	8	1.5
		次流纹岩(具珍珠构造)*	30	42	210	12	1.5	23	25	30	3.6
上党 旋回	三	次石英粗面岩	25	62	206	12	0.9	19	12	11	2.5
	二	次石英粗安岩	33	67	151	17	1.5	23	19	21	3.0
	二	次石英安山岩	5	80	92	22	1.4	102	74	45	5.6

喷发 旋回	亚 旋 回	岩石名称	样 品 数	主要元素平均含量(ppm)							
				Ni	Mo	Cr	Ba	Sr	Be	La	Y
圆山 旋回		次流纹岩	4	9	3.9	45	1750	558	1.5	68	20
		次流纹岩(具珍珠构造)*	30	11	1.8	78	2836	1741	2.1	29	11
上党 旋回	三	次石英粗面岩	25	6	1.5	45	3120	404	0.9	25	5
	二	次石英粗安岩	33	14	0.3	39	1706	564	2.1	51	16
	二	次石英安山岩	5	21	0.7	44	1600	940	1.3	20	6

*江苏省地矿局第三地质队资料(1983)

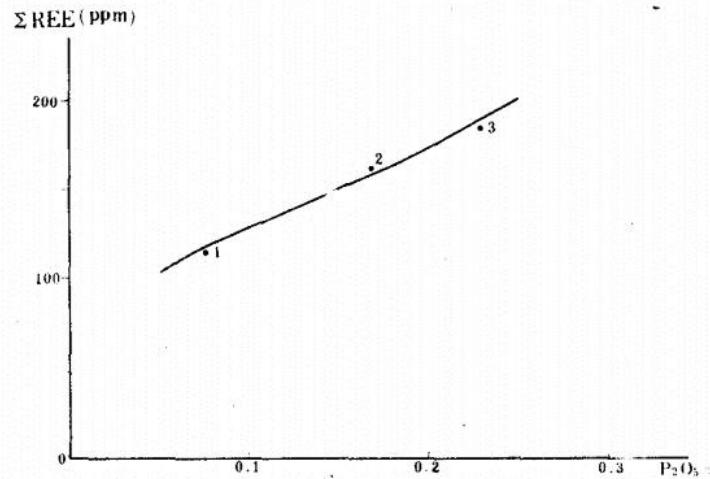
(六) 稀土元素特征

本区次火山岩稀土元素资料较少，仅有上党旋回第一、二、三亚旋回次火山岩的分析成果(表III-54)。三者的稀土元素组成模式曲线极为相似(图III-41B)，互相平行，同步起伏，向右陡倾斜，斜率一致，尤其是次石英粗安岩和次石英粗面岩，二者近于重迭。

稀土元素总量(表III-54)与P₂O₅的正相关性十分明显(图III-46)。三个样品的投影点，几乎在一直线上。可见P₂O₅含量对岩石中稀土元素丰度有很大影响。

轻稀土元素与重稀土元素比值均在19左右，说明轻、重稀土元素分馏显著，以富含轻稀土元素为特征，与同旋回火山岩一致。

δ Eu值略有区别，次石英安山岩为0.94；次石英粗安岩和次石英粗面岩很接近，为0.80—0.82，Eu亏损比前者明显，可能系晚期岩浆壳源成分有所增加的缘故。



图三-46 上党旋回次火山岩稀土总量与P₂O₅相关图

1. 次石英安山岩(湾山); 2. 次石英粗面岩(四平山); 3.

次石英粗安岩(秃山)

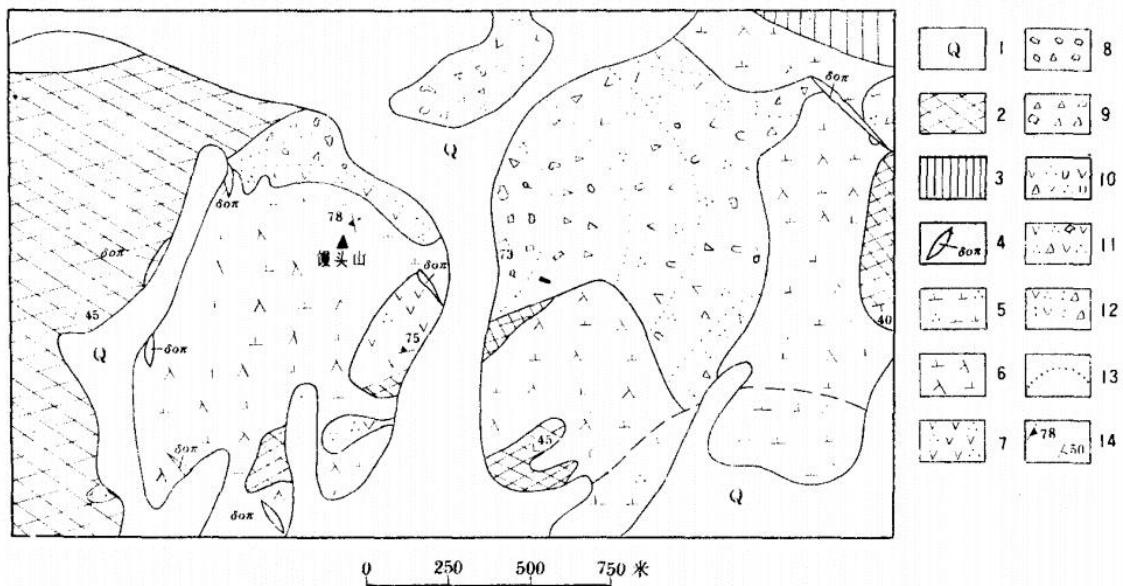
形成于上党旋回第一亚旋回。

II3、中一东区火山构造

通过岩相研究，并结合航磁、卫星照片资料，在宁镇山脉中一东段圈出了六个古火山机构：馒头山火山穹丘，燕子窝、腊里山、马鞍山、上党破火山口、圌山—龟山复合火山穹窿，其中馒头山和燕子窝两个火山机构研究程度较高。

(1)馒头山古火山机构(图I-47)

位于上党火山岩盆地馒头山—马鞍山火山喷发带的西端，受东西向和北东向两组构造联合控制。平面形态略呈北东东方向延伸的椭圆形，面积约4平方公里。



图三-47 馒头山古火山机构地质图

1. 第四系；2. 杨冲组泥质砂岩；3. 象山群砂岩；4. 石英闪长斑岩脉；5. 石英闪长斑岩；6. 闪长玢岩；7. 石英安山岩；8. 沉火山集块岩；9. 集块角砾岩；10. 石英安山质角砾熔岩；11. 石英安山质集块角砾熔岩；12. 石英安山质角砾凝灰岩；13. 岩相界线；14. 流面产状及地层产状

围绕古火山口有五个相带：
①近火山口喷发沉积相：主要由沉火山集块岩、沉集块角砾岩组成，分布于火山机构的内侧，是火山喷发碎屑物坠落在近火山口的低洼水盆地中堆积而成。碎屑物主要为石英安山岩，胶结物由凝灰质、砂质组成。其产状围绕火山口向外倾斜。
②近火山口爆发相：分布于喷发沉积相外侧，主要由角砾熔岩、集块角砾熔岩和角砾凝灰岩组成，产状外倾，由陡变缓，砾径由粗变细。上述两种近火山口相岩石在平面上呈半环

状分布于馒头山的东北侧，说明火山活动具有强烈侧向喷发的特征。③溢流相：由石英安山岩组成，分布于火山机构的外侧，产状向外倾。④火山口—火山颈相：位于古火山机构中心部位，由石英安山岩组成，其产状向中心倾斜，倾角75°左右。由于喷发后期闪长玢岩侵入吞噬，故仅残留了一部分。⑤次火山相：为次石英安山岩一次闪长玢岩，充填于火口管道部位，是火山活动末期的产物。据物探资料，该次火山相岩体呈上大下小的漏斗状，并向南西倾斜，说明导岩构造是向南西倾斜的，以致火山活动具有向北东定向喷发的特征。

(2)燕子窝古火山机构

燕子窝古火山机构位于石马—伏生山断裂与置东西桦—亭子复式向斜轴部的交叉处，平面形态呈北西西向的椭圆形，面积约15平方公里(图III-48)。形成于上党旋回第二亚旋回。其特征为：①燕子窝在地貌上是一个漏斗状的凹地，直径300—400米，山体周围有环状水系，具破火山口的特征，火山口中心由次火山相的石英粗安斑岩—石英闪长斑岩组成。产状呈环状内倾，倾角64°—67°。岩石结构由边缘向中心，有从玻基斑状结构→不等粒结构→近等粒全晶质结构的变化规律。②燕子窝四周由上党旋回第一、第二亚旋回溢流爆发相岩石呈环状包围，产状内倾，倾角16°左右。③次火山岩相石英粗安岩与近火山口爆发相和溢流相岩石呈侵入接触关系(图III-49)。

其它火山机构特征见表III-59

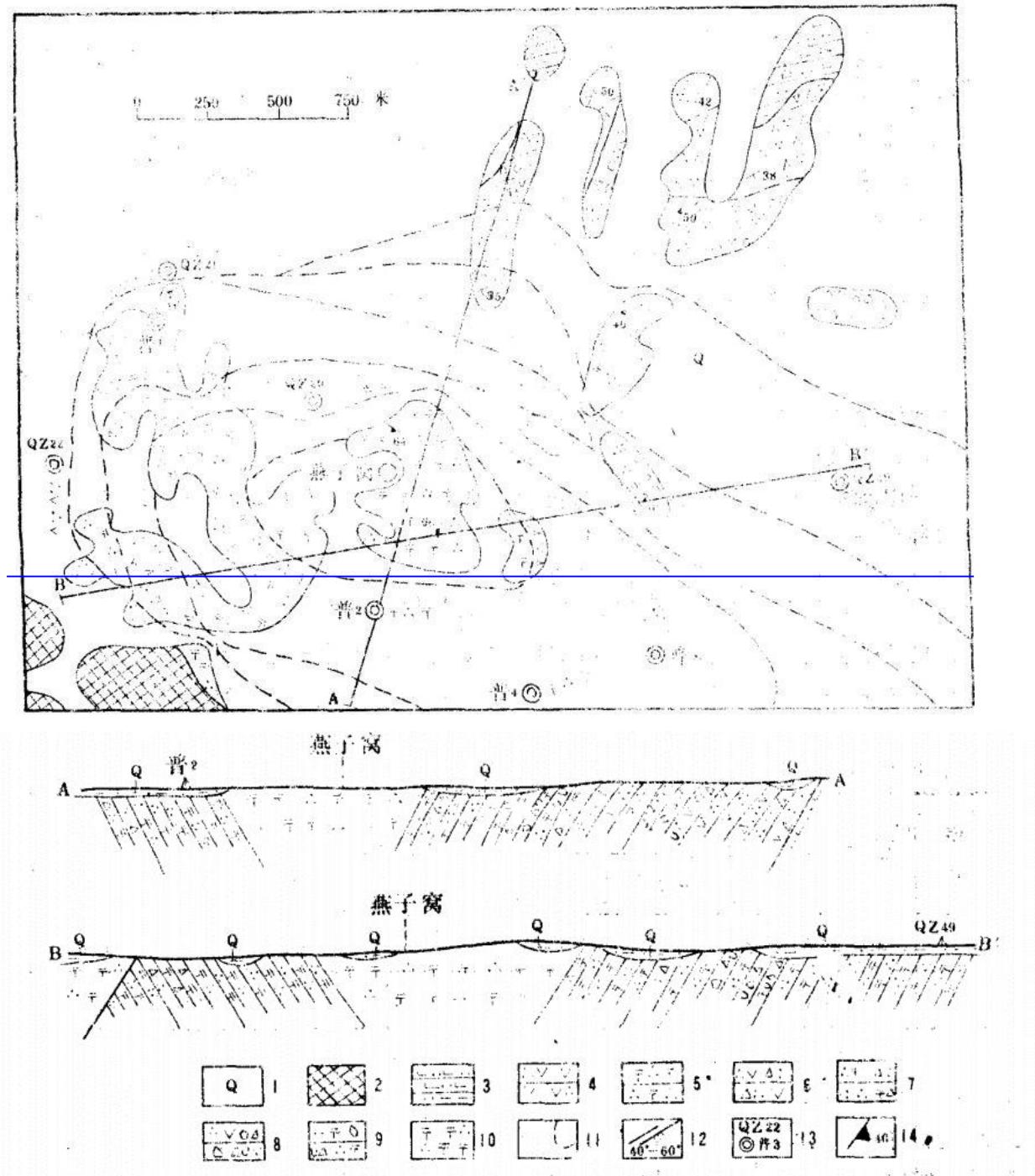
表三-59 中一东区火山机构简表

火山机构名称	形态、规模及时代	地质构造位置	简要特征
腊里山破火山口	椭圆形、管道面积1.6km ² ，形成于上党旋回第二亚旋回	位于句容火山盆地边缘，汤山—东昌行断裂喷发带	以腊里山—西山的次石英粗安岩为中心，四周有火山碎屑岩呈环状分布，由内向外火山碎屑粒度渐变细，产状内倾。火山颈部位的次火山岩流理陡立，垂直节理发育
马鞍山破火山口	椭圆形，因后期断裂破坏，已不完整。形成于上党旋回第三亚旋回	位于禹山—马鞍山—燕子窝—腊里山NE向导带断裂带与乔家门上党NNW向断裂的交汇处	火山口中心部位是由次石英粗面岩构成的马鞍形山体，周围火山岩呈半环状内倾，火山碎屑物中有火山弹，中心部位有放射状断裂，被次生石英岩充填
上党破火山口	椭圆形，管道面积约5km ² ，形成于上党旋回第四亚旋回	位于桦墅—亭子复式向斜与乔家门—上党断裂交汇处	航磁图上为一个形态规则的椭圆形低负异常区，钻孔和地表露头显示火山碎屑岩呈环形分布，英安流纹质熔岩流理呈环形内倾。同一火山口中，尚有玄武质岩浆相间喷发，为双模式火山构造
圌山—龟山复合火山穹窿	圌山穹窿3.1km ² 龟山穹窿1.6km ² ，形成山旋回	位于NWW向纪庄—后朱巷复式背斜北侧	卫星照片上环状影象清晰，可分出三圈色环，中心为两点，即两个火山口。圌山火山口位于山脊，火山岩层产状及流理均明显围斜外倾，并有半环状断裂。龟山火山口成龟背形穹丘，有大量爆发集块角砾岩堆积于火山口，爆发指数达80%

二、新生代火山岩

新生代火山活动在区内很微弱，仅在东向花、射乌山、鹿山庵零星可见晚第三纪基性火山岩和次火山岩(超浅成侵入岩)。

(一) 地质简况和岩石特征



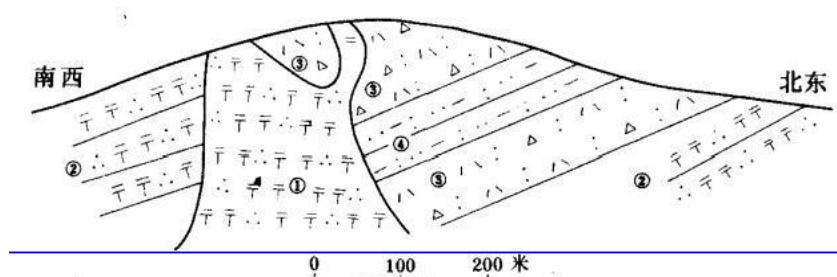
图三-48 燕子窝古火山机构地质图

1.第四系; 2.古生界; 3.杨冲组钙质砂岩; 4.石英安山岩; 5.不英粗安岩; 6.石英粗安质角砾凝灰岩; 7.石英粗安质角砾凝灰岩; 8.石英安山质集块角砾熔岩; 9.石英粗安质集块角砾熔岩; 10.次石英粗安岩; 11.岩相界线; 12.断层; 13.钻孔位置及编号; 14.藏面产状

1.鹿山庵橄榄玄武岩

位于大华山南麓，构造上属桦墅—亭子复式向斜北翼，分布面积有两百余平方米。周围分布有燕山期石英闪长斑岩。

岩石呈灰黑色，具椭圆形气孔构造，气孔大小不一，大者达 3×1 厘米，小者孔径约0.2毫米，气孔中有白色杏仁体。斑状结构，斑晶含量25%，由橄榄石(15%)和含钛辉石(10%)组成。基质为间隐结构，由长条状斜长石和粒状普通辉石、磁铁矿及少量玄武质玻璃组成。



图三-49 次石英粗安岩与火山岩接触关系素描图(东古山)

1.次石英粗安岩；2.石英粗安岩；
3.含角砾凝灰岩；4.凝灰质泥质粉砂岩明

或浅绿色，具简单双晶和环带构造。

2.射乌山橄榄玄武岩

位于汤山北约5公里之射乌山顶，海拔195—234米，高于周围山峰，玄武岩宛如一顶尖帽，覆于象山群石英砂岩之上，象山群倾角30°左右，玄武岩层倾角小于10°，两者呈角度相交。玄武岩分布面积不足0.01平方公里，厚约40米。

岩石类型有：气孔状橄榄玄武岩和方沸石橄榄辉绿岩⁽¹⁵¹⁾。

气孔状橄榄玄武岩(表III-60):灰绿色、深绿色，具气孔构造，斑状结构，基质为海绵陨铁结构或间粒结构。斑晶含量5%，全为橄榄石，基质矿物含量不稳定。

表三-60 射乌山玄武岩矿物含量(%)

序号	岩石名称	斑晶	基质					基质结构
		橄榄石	辉石	斜长石	方沸石	氧化铁	气孔	
1	气孔状橄榄玄武岩	5	—	25	—	45	20	海绵陨铁
2	方沸石橄榄玄武岩	5	10	75	10	—	少量	间粒

橄榄石呈长柱状或长六边形，裂理发育，已发育伊丁石化或被蒙脱石—绿泥石集合体交代。斜长石呈长条状，常被氧化铁包裹，构成海绵陨铁结构，气孔内一般无充填物。

方沸石橄榄辉绿岩：岩石呈灰黑色，次辉绿结构，由橄榄石(12%)、斜长石(45%)、含钛普通辉石(30%)、方沸石(13%)组成。橄榄石呈柱状，裂理发育，沿裂理或颗粒边缘常变为伊丁石，核部则被蒙脱石—绿泥石集合体交代。含钛普通辉石略带浅紫色，局部包裹斜长石，构成次辉绿结构。斜长石呈长条状，多为拉长石，常和含钛普通辉石构成间粒或次辉绿结构。经X光粉晶分析，其间隙常充填方沸石或粒状含钛磁铁矿(图版XIX-1)，愈近山顶，方沸石含量愈高。

综观射乌山玄武—辉绿岩的结构、岩相变化，由下至上，由边缘至中心，岩石基质结构由海绵陨铁结构→间粒结构→次辉绿结构，岩相则由溢流相变为次火山岩相。

3.东向花橄榄辉绿岩

位于南京市西南约10余公里，可见相距150—300米的三处露头，呈次火山岩相与雨花台组砾石层相接触。

斑晶矿物和基质矿物均定向排列，呈现流动构造(图版XIX-6)。

橄榄石斑晶呈半自形短柱状或粒状，粒径1—3毫米，有红色伊丁石外壳，裂理发育，沿裂理有轻微的伊丁石化，内核往往呈波状消光；含钛普通辉石斑晶呈柱状，粒径约0.5—1毫米，无色透

岩石呈灰色，具斑状结构，斑晶含量35%左右，其中含钛普通辉石20%，橄榄石(伊丁石化)8%，中一拉长石7%。基质具间粒一固隐结构，由中一拉长石(40%)、伊丁石化橄榄石(7%)、含钛普通辉石(8%)和隐晶长英质(10%)组成。伊丁石化橄榄石呈短柱状，外形不规则，大部分被伊丁石交代，单偏光下呈红褐色。含钛普通辉石呈淡黄色，短柱状，横切面八边形，具有简单双晶，偶见环带构造。辉石斑晶粒度大，与基质中的辉石截然可分，常见波状消光，裂理发育。中一拉长石呈长条状，有的为聚合斑晶，与基质中的中一拉长石呈连续不等粒的过渡关系，且基质中的斜长石隐晶常交代斜长石斑晶，在边缘形成一圈净边，斜长石中亦见波状消光。

(二) 岩石化学特征

上述三地新生代晚第三纪玄武岩类的化学成分(表III-61)由早到晚， SiO_2 、 Al_2O_3 和全碱依次增高， TiO_2 、 FeO 、 MgO 、 CaO 等基性组分依次降低。江宁县方山地区的玄武岩由下至上，主要化学成分也有类似的演化关系，即硅、碱、铝增高，;基性组分降低^(30~140)。对应比较，射乌山玄武岩与方山玄武岩的化学成分很相近，鹿山庵玄武岩与雨花台期玄武岩较接近，而东向花的辉绿岩比较偏酸性， SiO_2 达53.79%，可能是演化晚期的产物。

表三-61 新生代玄武岩类化学成分(%)

序号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O	CO_2	$\text{S}(\text{Cr})$
1	53.79	0.96	17.10	8.20	1.37	0.217	2.97	6.50	3.05	2.81	0.42	2.05	0.21	0.026 (0.0079)
2	52.15	1.91	14.49	6.33	4.78	0.137	5.91	8.17	3.00	0.76	0.299	1.82	0.06	0.024 (0.031)
3	47.60	2.54	14.42	8.67	4.11	0.162	7.08	8.38	3.24	1.43	0.52	1.19	0.03	

1. 碱性橄榄辉绿岩(东向花);2. 橄榄玄武岩(射乌山);3. 碱性橄榄玄武岩(鹿山庵)

(三) 微量元素特征

新生代晚第三纪基性岩类的微量元素含量(表III-62)与维诺格拉多夫的基性岩相比，东向花辉绿岩的V、Zr、Ba和鹿山庵橄榄玄武岩的V、Ni、Mo、Cr偏高；Cr、Ni含量变化幅度大，其在鹿山庵的橄榄玄武岩含量高于维氏值，在东向花辉绿岩的含量则显著低于维氏值。 Cu 、 Zn 等亲铜元素含量普遍偏低，稀有元素Be含量高于维氏值三倍。

表三-62 新生代玄武岩微量元素含量(ppm)

岩石名称	地点	样品种数	V	Zr	Ga	Sn	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mo	Cr	Ba	Sr	Be
辉绿岩	东向花	1	300	200	15	<3	40	10	30	20	20	0.2	80	1000	400	1.5
橄榄玄武岩	鹿山庵	1	400'	100r	20	<3	50	—	80	30	200	6	350	800	200	1.5
维氏基性岩			200	100	18	1.5	100	8	130	45	160	1.4	200	300	440	0.4

第三节 燕山期岩浆活动的特点和岩浆成因及与内生矿产的关系

二、岩浆活动的特点

(一) 火山活动的多旋回性及各旋回的特点

本区燕山期火山活动是不平衡的，西区的火山活动时间早，延续时间长，从晚侏罗世至早白垩世末，共有四个火山喷发旋回；中—东区的火山活动时间晚，延续时间短，从早白垩世中期至晚期：有两个火山喷发旋回(表III-32)。

每一旋回的火山活动在时间上具有连续性，而且岩浆性质大体是相同的或具有演化关系。旋回之间，常有喷发间断，并以沉积相相隔。

西区：龙王山旋回以安山质岩浆的强烈喷发为主，形成了巨厚的火山碎屑岩，间夹少量溢流相熔岩；大王山旋回以玄武安山质岩浆的喷溢为主，与龙王山旋回相比，喷发强度有明显的减弱，并形成了广泛的次火山岩；姑山旋回为石英安山质岩浆喷发，并与陆相沉积作用同时进行；娘娘山旋回为富钾质的酸—碱性岩浆的局部活动，以出现假白榴石等碱性矿物为特征。

中—东区：上党旋回为一套钙碱质的中—酸性岩浆活动，分四个亚旋回：第一亚旋回以石英安山质岩浆强烈爆发为主；第二亚旋回以石英粗安质岩浆爆发和溢流相闻，频繁交替为特点；第三亚旋回为单一的石英粗面质岩浆溢流；第四亚旋回为双峰式岩浆活动，以英安流纹质和玄武质岩浆的相间喷发为特点。圌山为以溢流相为主的弱碱性流纹质岩浆的局部喷发。

由于喷发强度的变化，每一旋回一般都有数个喷发韵律，每一韵律通常以爆发相开始，溢流相结束，或者由爆发相—溢流相—喷发沉积相构成一个完整的韵律层。

西区和中—东区火山活动的初始阶段(第一旋回或第一亚旋回)都是以爆发相占优势，在第二或第三(亚)旋回中则以溢流相为主，甚至于为单一的溢流相，最后一个旋回往往以喷发—沉积相占较大的比例(表III-63)。反映了火山活动由强渐弱，最后熄灭的总体活动规律。

表 III-63 火山喷发旋回的岩相比例(%)

西区	爆发相	溢流相	喷发—沉积相	中—东区		爆发相	溢流相	喷发—沉积相
娘娘山旋回	45	43	12	商山旋回		27	47	26
姑山旋回*				上党旋回	三亚旋回	—	100	—
大王山旋回	20	75	5		二亚旋回	36.4	24.45	39.06
龙王山旋回	40	58	2		二亚旋回	63.84	33.73	2.43

*姑山旋回及上党旋回四亚旋回缺地米剖面资料，无法统计。

从火山岩的分布特点来看，早期火山岩往往呈线形分布，如西区龙王山组主要分布于南京—铁心桥，天井山—上坊和栖霞山—北象山等喷发带中；中—东区上党旋回第一亚旋回主要分布于桦墅—亭子向斜核部和汤山—东昌街喷发带中。说明火山活动初期常受断裂带控制，以裂隙式喷发为主。大王山旋回、上党第二亚旋回为火山活动的高峰期，均具有规模大，分布广的特点，并伴有大规模同期异相的次火山岩或侵入岩，岩浆活动具有熔透式喷发性质。其后火山活动有所减弱，如西区姑山组和中—东区上党旋回第三亚旋回和第四亚旋回的分布就有一定的局限性。最后，火山活动进入尾声，以局部的中心式喷发为特点，圈山古火山口和邻区的娘娘山古火山口都是典型的例证。

（二）侵入活动与火山活动在时间上的对应关系

本区侵入活动分四次：燕山早期为中基性岩浆，呈岩株状侵入，其岩石同位素年龄为145百万年，相当于晚侏罗世，与龙王山旋回一大王山旋回相对应。燕山晚期为一系列中酸性岩浆活动，分三次侵入：第一次为(石英)闪长玢岩，呈小岩株、岩墙状，零星分布，与上党旋回第一亚旋回对应；第二次为大规模的石英闪长岩—花岗闪长岩和二长花岗岩侵入，其同位素年龄92—123百万年，与上党旋回第二—四亚旋回大致对应；第三次为碱长花岗岩，呈小岩株状零星分布，与圈山旋回相对应。

根据侵入岩与次火山岩、火山岩的接触关系以及同位素年龄值的比较，在同一旋回中三者成岩时间顺序依次是火山岩→次火山岩→侵入岩。

（三）岩浆岩空间分布特征

区内岩浆岩的空间分布特征是：火山岩系依据岩性所划分的组、段，其分布具有区间性，侵入岩的岩性特征在空间上具有差异性。

1. 火山岩分布的区间性

宁镇山脉的火山岩可分为三个岩区：

西区：该区西南缘与宁芜火山盆地相连，从构造上来说，宁镇山脉西段为宁芜火山盆地的北延部分，因此，西区火山活动与宁芜地区相似，亦分龙王山、大王山、姑山、娘娘山四个旋回，但主要活动期是在晚侏罗世的龙王山旋回和大王山旋回，岩浆性质由中基性向碱性方向演化，属钙碱性岩系。

中区：该区火山活动主要是在早白垩世早期的上党旋回，其中包括四个亚旋回，岩浆性质由中性向酸性演化，属钙碱性岩系。各亚旋回火山岩的分布颇有规律性，第一亚旋回的火山岩主要分布于亭子至石马间和汤山—东昌街喷发带西段；第二亚旋回的火山岩主要分布于石马东侧的燕子窝和汤山—东昌街喷发带的东段；第三亚旋回的火山岩分布于石马与上党之间的独山—横山一带；第四亚旋回的火山岩分布于上党东侧的土山、秃山等地。可见各亚旋回的喷发产物按由老至新的次序逐步向东转移。

东区：该区火山活动主要是在早白垩世晚期的圈山旋回，而且该旋回特有的碱性流纹岩，仅分布于宁镇火山—侵入杂岩体的东端—圈山地区，岩浆性质为酸偏碱性，亦属钙碱性岩系。

由上可知，无论是在总体上，还是在某一个岩区中，由西向东，火山活动的时代由老至新，活动中心也逐步由西向东迁移。

2. 侵入岩的岩性特征在空间上的变异

侵入岩分布的区间性不及火山岩明显，各期次的侵入岩在空间分布上有重叠和交叉，但

其岩性特征随着空间的变迁亦出现较大的差异性。

燕山早期的碱性—中基性岩体仅见于西区，与龙王山、大王山旋回的活动区一致。燕山晚期第一、二次的中酸性侵入岩主要分布于宁镇山脉中段，与上党组第一、二亚旋回的火山岩分布区大体一致；第三次的酸性侵入岩及相应的火山岩主要分布于雷巷—东林场及其以东地区，虽然规模很小，分布零星，但在东部的各岩体中均可见到，并在圈山和上党的火山机构中以次流纹岩和珍珠岩产出。可见随着时间由老至新的推移，侵入活动大体上是由西向东扩展，与火山活动相吻合。

西区：包括板仓、其林门两个杂岩体，二者深部磁场相连，可视为一个整体。其岩石组合为辉长岩—(石英)闪长岩—花岗闪长岩，其中以(石英)闪长岩类为主，约占西区的一半。侵入活动始于晚侏罗世，以基性岩浆为起点，向富钠偏碱性的方向演化。

中区：包括安基山、高资、新桥、石马等杂岩体，这四个杂岩体在地表就互相连接，深部磁场特征表明它们实为一个整体，共同组成了宁镇山脉中段的庞大岩基。该段岩石组合为(石英)闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩，以花岗闪长岩类为主，约占该地段的80%。侵入活动始于早白垩世早期，以中性岩为起点向酸性岩演化。

东区：系指镇江一大港地区。岩石组合主要为(石英)闪长岩—二长花岗岩、花岗闪长岩—花岗岩。侵入活动始于早白垩世早期；以中性岩为起点向富钾的酸性岩演化。

从表III-64可知，对于岩浆岩的性质具有指示意义的这些特征值，由西向东均呈递变关系。K、Na、Ca的原子重量百分比三角图上(图III-50)，西区由富钙为起点，分两支发展，一支向Na端演化，另一支向Na、K等量方向演化；中区由富钙向K—Na等量方向演化；东区由富Na、Ca迅速向富钾方向演化。三区的钙碱指数(图III-51)和里特曼指数均表明，西区属碱钙性岩系，中、东区均属钙碱性岩系，但东区比中区钙碱指数更大。三区的 K_2O/Na_2O 比值表明，由西向东钠质含量逐步降低，钾质逐步增高。

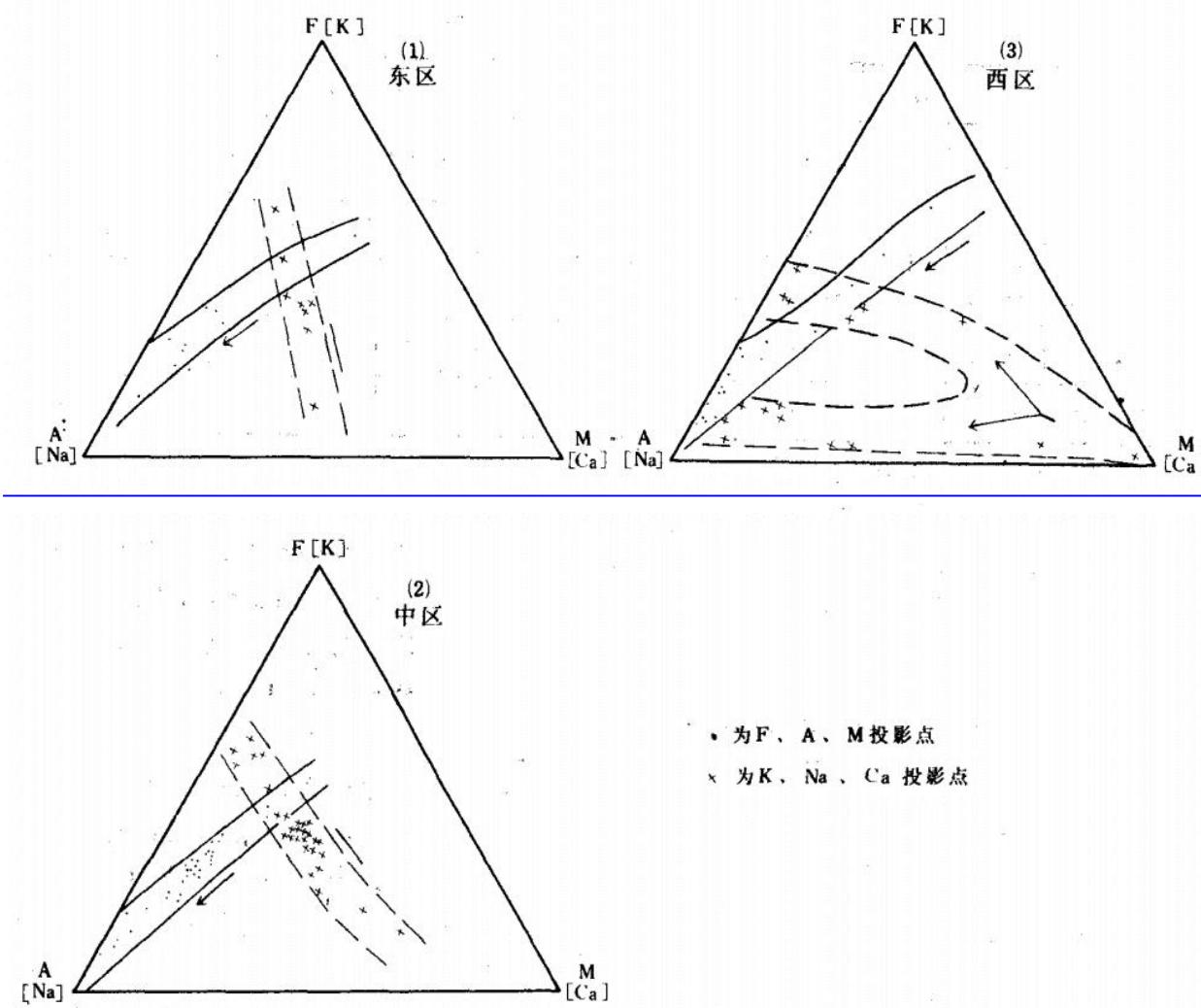
表三-64 各岩区侵入岩特征值对比表

岩区	SiO ₂ %		里特曼指数		钙碱指数	分异指数	K_2O/Na_2O
	变化范围	平均值	变化范围	平均值			
西区	43.49—74.67	58.71	2.81—26.30	7.46	53.5	63.14	0.54
中区	62.42—76.96	66.56	1.62—4.30	2.52	58.0	77.22	0.71
东区	65.03—68.43	67.15	1.73—2.36	2.09	60.8	77.31	1.01

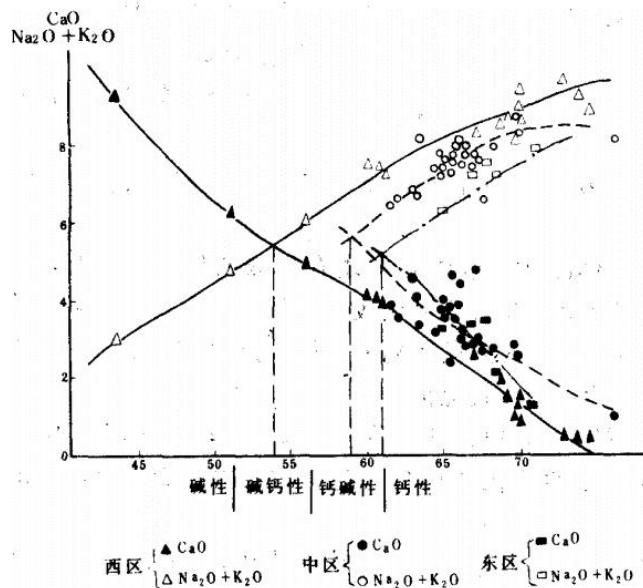
(四) 区域岩浆成分的演化

区内岩浆岩化学成分的演化关系在侵入岩中表现得较为清楚。从表III-65可知，随时间的发展，侵入岩的主要化学成分的增减均呈递变关系。DI值与固结指数SI值已概括地反映了本区侵入岩在演化过程中酸碱增长，基性组分下降的总趋势(图III-52)。

需指出，虽然全碱(Na_2O+K_2O)逐次递增，但 Na_2O 与 K_2O 的演化途径有所不同，燕山晚期第三次侵入岩的 Na_2O 含量递减，而 K_2O 递增， K_2O/Na_2O 值由0.24增长到1.19，即由富钠贫钾转变为富钾贫钠。侵入岩中基性组分逐次下降趋势相当稳定，(FeO)、MgO、CaO的演化线近乎平行，同步下降，三者比值基本上保持一个常数。在演化末期，岩浆中的



图三-50 侵入岩FAM和K、Na、Ca原子重量三角图



图三-51 侵入岩钙碱指数图

Ca、Mg、Fe极度贫乏，说明岩浆向超酸性发展。

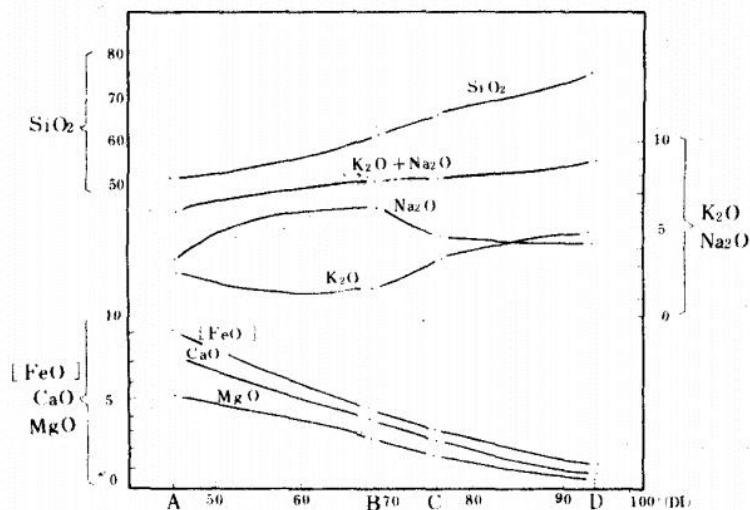
区内火山岩化学成分的演化较为复杂，西区火山岩的演化线起伏很大，缺乏规律性，中—东区火山岩演化趋势则比较明确。在化学组分与分异指数相关图上(图III-35)，西区四个旋回火山岩的投影点参杂在一起，无明显的线性关系，说明各旋回缺乏良好的分异，火山活动是在岩浆来源非常充裕，不断得到补给的情况下进行的，而且喷发速度较快，以致分异不良。

中—东区火山岩的化学成分演化线比较稳定，其中SiO₂逐次递增，Na₂O和P₂O₅递减。除此之

表三-65 各期次侵入岩岩石化学特征值

期次		酸度		碱度			基性组分				分异性		
		SiO ₂ %	S值	K ₂ O%	Na ₂ O %	K ₂ O/ Na ₂ O	Na ₂ O +K ₂ O	(FeO)*	MgO	CaO	b值	DI	SI
燕山晚期	第三次	72.40	88.57	4.83	4.06	1.19	8.89	1.06	0.19	0.55	1.77	94.39	1.85
	第二次	66.72	74.09	3.12	4.52	0.69	7.64	3.30	1.58	3.06	6.86	75.79	12.29
	第一次	60.42	72.57	1.48	6.17	0.24	7.65	4.45	2.75	4.43	11.48	68.76	18.12
燕山：早期		51.69	60.96	2.70	3.20	0.84	5.90	9.13	5.17	7.97	22.77	45.82	21.97

$$*(\text{FeO}) = 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$$



图三-52 侵入岩主要化学成分变异趋势图

A燕山早期; B燕山晚期第一次;

C燕山晚期第二次; D燕山晚期第三次

上和空间上具有下述演化趋势(图III-54)。

亲铁元素: Ti、Mn、V、Cr、Ni、Co, 随着时间的发展, 其含量逐步降低, 演化线呈阶梯状跌落(图III-24)。

亲铜元素: 演化关系比较复杂, Zn、Cu、Mo总体演化线有降低的趋势, 但在燕山早期的基性岩和燕山晚期的中酸性岩阶段, 尤其后阶段含量比较高, 是区内重要的成矿阶段。Pb、Ag的含量和丰度系数均在燕山晚期第二侵入阶段达到最大值。燕山晚期第三次的酸性岩中亲铜元素含量大幅度下降, 低于同类岩石的克拉克值。

亲石元素: Ba的峰值出现在燕山晚期第二阶段, 即中酸性侵入岩中; Sr的峰值出现在燕山晚期第一阶段的(石英)闪长岩中; Zr的演化线比较平坦。这三个元素在燕山晚期第三次侵入岩中都趋向贫化。

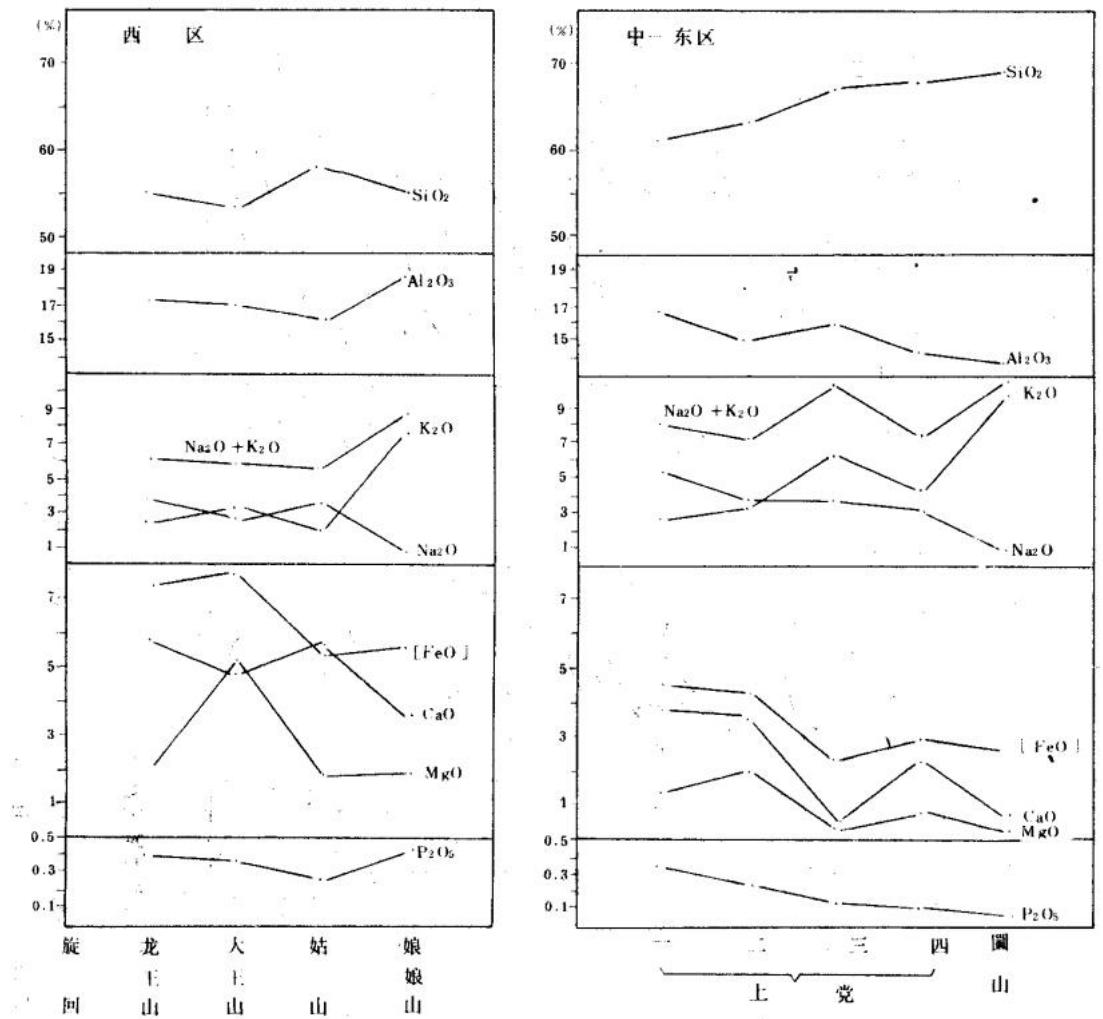
微量元素在空间分布上的一个重要特点是: 西区微量元素的演化线较为平滑, 中区和东区的亲铜元素常出现波峰, 尤以中区最突出, 表明中区和东区亲铜元素在空间分布上的不均匀性, 离差较大, 易在局部地区富集成矿。

外, 其他组分的演化线有不同程度的起伏, 但总的演化趋势比较明显, 其中K₂O趋于增长, Al₂O₃、CaO、MgO和(FeO)趋于减少。

将西区与中一东区的火山岩演化线进行对比(图III-53), 以纵坐标值来衡量, 二者演化线有明显的差异, SiO₂和K₂O、Na₂O的演化线, 西区低, 中一东区高, Al₂O₃、(FeO)、CaO、MgO和P₂O₅反之。反映了火山岩化学成分在空间上由西向东, 硅碱增长, 基性组分和Al₂O₃降低。

2.微量元素的演化

本区侵入岩的微量元素在时间



图三-53 火山岩化学成分演化趋势

3. 稀土元素的演化

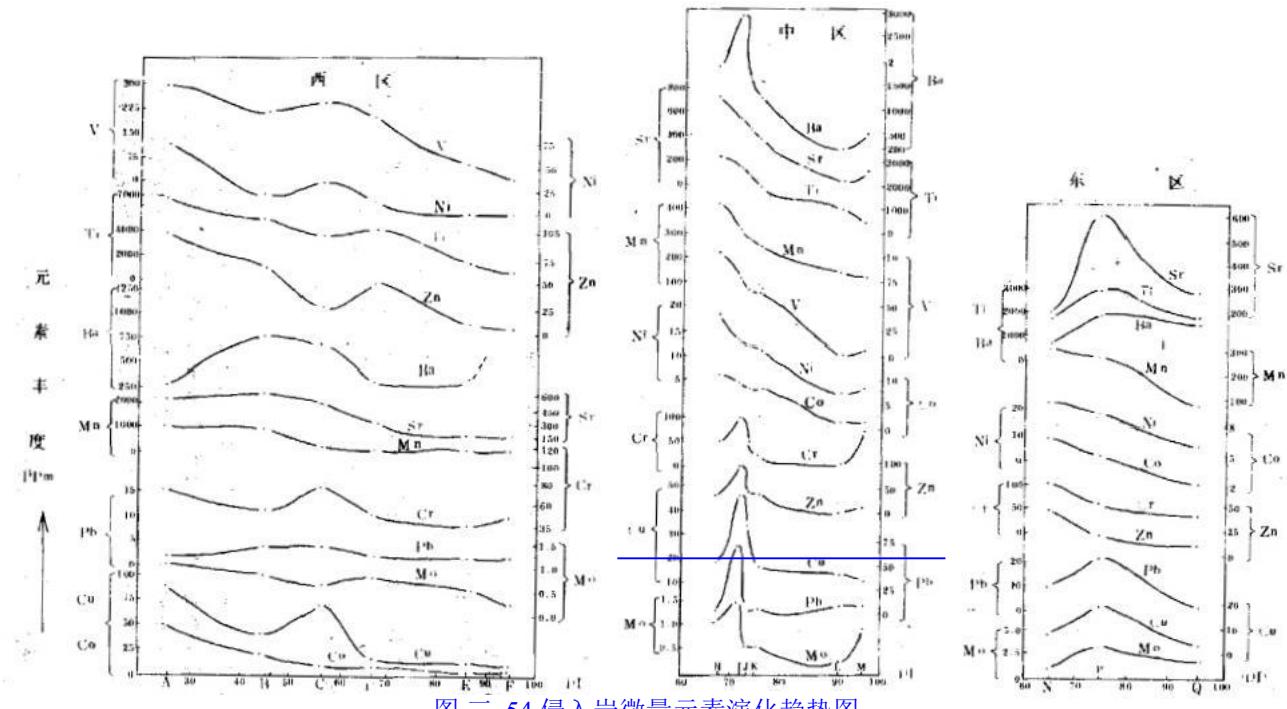
本区侵入岩的稀土元素随着侵入期次的变化，也表现了它们的演化特征：①随着侵入时间的早晚，稀土元素总量由燕山早期的185ppm到燕山晚期第一次→第三次分别为175、155、114ppm，表现为逐次降低之势；②轻稀土元素比值逐次增大，即轻稀土元素相对富集，重稀土元素贫化(表III-23)；③ δ Eu值变化不甚明显，一般为0.8—1，处于弱亏损状态，唯岩浆演化末期稍亏损较大， δ Eu=0.6左右。

二、岩浆岩成因讨论

对于宁镇山脉岩浆岩的成因，一般多用幔源的玄武岩浆结晶分异说来解释，其主要依据是：这一套从超基性至酸性的岩浆具有同源特征和连续演化的关系。陈思松等(1982)曾将宁镇山脉花岗岩类归于同熔型，并与澳大利亚学者查佩尔和怀特的I型以及日本学者石原舜三的磁铁矿型类比⁽¹⁷⁰⁾。我们认为探讨岩浆岩成因的关键问题是岩浆来源和产生的机制，现就这两方面进行论述。

(一) 岩浆来源

岩浆来源的最重要依据是岩浆岩的物质组成。宁镇西区与中一东区岩浆岩的物质组



图三-54 侵入岩微量元素演化趋势图

A.蒋王庙岩体角闪橄榄辉长岩; B.蒋王庙岩体辉长岩; C.蒋王庙岩体闪长岩; D.其林铺岩体闪长玢岩; E.白鹅山岩体花岗闪长斑岩; F.牛头山岩体花岗斑岩; H.条状山岩体闪长玢岩; I.安基山岩体石英闪长斑岩; J.石马岩体花岗闪长岩; K.高资岩体花岗闪长岩; L.雷巷岩体花岗岩; M.东林场岩体钾长花岗岩; N.粮山岩体闪长玢岩;

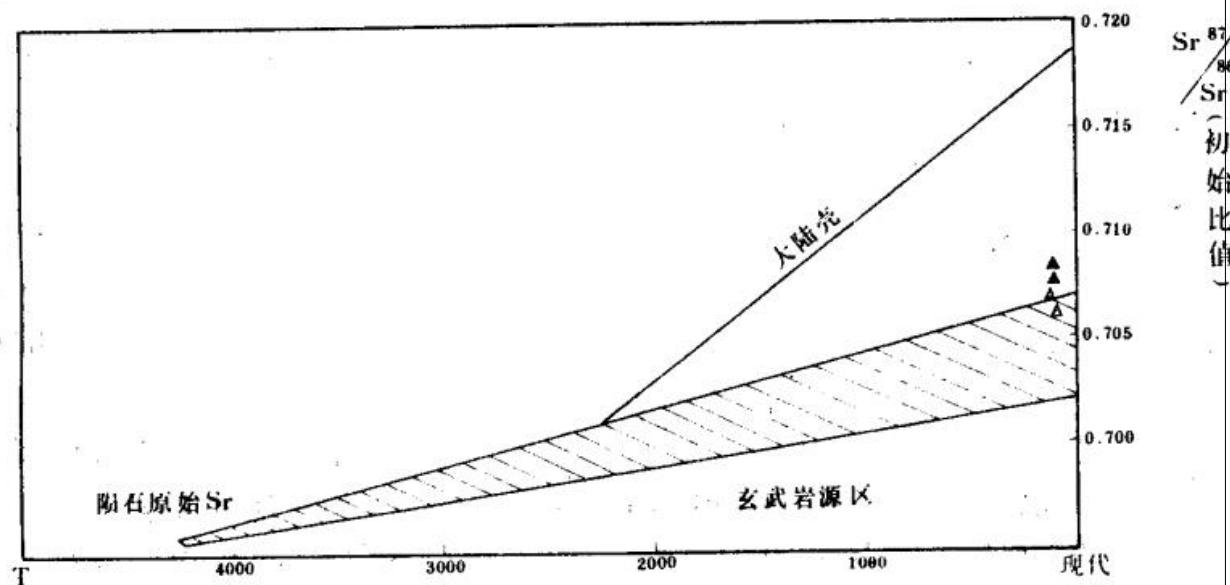
P.丹徒镇岩体花岗闪长班岩; Q.钟家村岩体花岗岩

成及其属性有所不同，前者为以中基性岩为主的碱钙性岩区，后者为以中酸性岩为主的钙碱性岩区。

西区的岩石类型以辉长岩—闪长岩、玄武安山岩—粗安岩为主。该区的蒋王庙基性岩体中，含有较多的橄榄石，而且深部有辉石橄榄岩；龙王山旋回和大王山旋回的火山岩和次火山岩中含有铬尖晶石(169)，它们均系幔源型矿物。采用 SiO_2 与 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 关系图(久野1966)来判别，该区火山岩和中酸性侵入岩的投影点主要分布于碱性玄武岩区(图III-36)，同时，其稀土元素特征是总量高，轻、重稀土元素比值大，模式曲线向右陡倾，与世界范围内的大陆碱性橄榄玄武岩的稀土元素模式曲线比较接近(图III-14)，说明本区西部的母岩浆应属碱性橄榄玄武岩范畴。现代岩石成因学认为^(165, 171)，碱性玄武岩浆来源于上地幔，是在高压环境中，通过低程度的部分熔融(<10%)而产生的。由此可见，西区的原始岩浆应属幔源型。在侵位上升过程中，由于分异作用和地壳物质的混染，而产生了以安山岩—闪长质岩石为主的从超基性—酸性岩类的一系列岩石。

中—东区是以花岗闪长岩类为主的钙碱性岩区。目前，关于花岗岩类的成因分类，均系以岩浆物质来源为基础，归纳起来有三种类型：一是来源于上地幔，并由玄武岩浆分异而产生的花岗岩；二是来源于地壳，经重熔或岩汁交代而形成的花岗岩；三是幔—壳混合型花岗岩。本区花岗岩类属第三种类型，即幔—壳混合型花岗岩，是由幔源组分与壳源组分以不同比例混熔的过渡性岩浆所形成*。与徐克勤的同熔型花岗岩浆(172)可以类比。确定混合型岩浆成因的依据是：

1. 锶同位素： $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 的初始比值是确定岩浆物质来源的重要示踪剂，一般认为 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 初始比值<0.705者属幔源型，0.705—0.710者为过渡型，>0.710者为壳源型。本区花岗岩类有四件锶同位素样，其初始比值介于0.7059—0.7086之间，应属幔—壳过渡型(图III-55)。



图III-55 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 初始比值与年龄关系图
T(时间，百万年)

• 刘家远，1年资料。

• 陈思松等，1983年资料。

2.副矿物组合：区内花岗岩类的副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石，具有同熔型花岗岩的副矿物组合特征⁽¹⁷⁴⁾，并含有铬尖晶石、碳硅石、刚玉等高压环境中生成的标型矿物，说明岩浆来源深度较大。未发现堇青石、石墨、电气石、十字石等改造型壳源花岗岩中常见的副矿物。

3.黑云母化学成分：黑云母中的Mg/Mg+Fe⁺³+Fe⁺²+Mn比值(原子数)，幔源超基性岩>0.8，壳源花岗岩<0.25。本区花岗岩类为0.6—0.65，介于壳—幔之间，属镁黑云母类。有意义的是，该项比值由西向东逐渐降低，其林门杂岩体为0.65，安基山杂岩体为0.63，石马杂岩体为0.60，说明自西向东岩浆中的壳源组分增长，幔源组分减少。

4.K/Rb比值：K和Rb是一对碱金属；它们在地球中的相对分布状况是，K趋向地壳深部，主要来源上地幔，Rb趋向于地壳上部。因此，岩浆岩中K/Rb比值可作为物质来源的指示剂。如由拉斑玄武岩系列分异的斜长花岗岩的K/Rb比为1080，华南的地壳重熔或改造的花岗岩为20—234⁽¹⁷³⁾，本区花岗闪长岩K/Rb为421，亦介于幔源和壳源之间。

5.微量元素组合：本区花岗岩的微量元素主要为V、Ti、Cr、Cu、Mo、Pb、Zn组合，具有深源特征。缺乏地壳重熔型和改造型所富有的Li、Be、Nb、Ta、W、Sn等元素。

6.稀土元素：本区花岗岩的稀土元素组成模式为平滑曲线，铕异常不明显，与华南花岗岩的V形曲线有明显区别。

7.成岩温度：在不同水压的Q—Or—Ab相图上，本区花岗岩类的投影点呈带状分布，与最低共熔点所构成的低温槽一致(图III-56)。说明本区花岗岩是地下深处的熔融岩浆结晶而成。岩浆初熔温度与低温共结温度应是一致的，或者为正相关的关系，因此，可以用成岩温度间接地反映初熔温度。如上所述，本区花岗岩的成岩温度为600—800°C，而北欧典型的花岗岩化形成的花岗岩的成岩温度为300—500°C(174)，华南的硅铝壳重熔型花岗岩用均一法和爆裂法测得的温度为500—800°C，显然，本区花岗岩的成岩温度高于后二者，说明初熔温度高，岩浆来源深，推测来自上地幔，属同熔型。

8.岩浆岩中的部分融熔

残留体(包体)：本区花岗岩类岩石(包括侵入岩与火山岩)，普遍有细粒辉石闪长(玢)岩包体，其岩石化学和地球化学特征(表III-66)说明它相当于玄武—辉长质，应来自下地壳

玄武质层圈(硅镁层)。在侵位过程中，受主岩浆的影响，岩性略向酸性转化。因此，这种包体应属下地壳部分熔融的残留体，是岩浆来自下地壳的佐证。

表三-66 深源包体化学成分(%)和微量元素含量(ppm)

产地	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	H ₂ O	CO ₂	总量
新桥	49.20	1.30	16.36	5.08	3.10	0.22	4.52	6.73	5.74	1.09	0.75	2.94	2.61	97.27
石马	53.88	1.19	16.75	3.51	4.63	0.17	3.72	6.85	4.55	1.94	0.45	0.81	0.71	99.16
石马	54.55	1.11	17.13	2.86	4.55	0.15	4.37	6.42	4.45	2.26	0.41	0.92	0.08	99.26

石马地区 微量元素 平均值	Ti	Cr	Ni	Co	V	Cu	Pb	Zn	Mo	Be
	6655	100	35	13	125	14.5	20	55		2
	Zr	Li	Rb	Ba	Sr	Ga	La	Y	Cl	F
	160	44	95	896	550	19	80	30	950	775

(二) 岩浆形成过程

岩浆岩是地壳运动的产物，它的产生和演化必然是受地质构造背景的制约。

燕山早期本区西部属断陷区，处于拉张的构造环境，围向压力低，物质熔点也随之降低，使上地幔发生部分熔融，产生了基性岩浆，并乘围压降低之机而上涌，所以本区岩浆活动首先发生在西部。蒋王庙岩体的La/Sm—La相关投影点大致呈水平分布的特征，说明西部的原始基性岩浆在分离结晶作用下，产生了一套橄榄辉长一闪长质的岩石。

在燕山早期炽热的基性岩浆上升过程中，由于岩浆与围岩之间的温差梯度大，必然引起热能的侧向扩散，加热周围的物质，诱发下地壳部分熔融，产生燕山晚期一系列的中—酸性岩浆。在这一过程中，基性岩浆不但提供了热源，而且本身也参与到中—酸性岩浆中去，造成了两者的混合。

在La/Sm—La相关图上，燕山晚期中—酸性岩的投影点呈向左陡倾斜的线性分布；说明它们之间的差异是由于部分熔融程度的不同，或是部分熔融区逐渐迁移而造成的。在下地壳玄武质层圈受热熔融时，最初熔出的是具有“低温谷”特征的安山质岩浆(175)，进而，由于热源不断上升，熔融区逐渐由下地壳的硅镁层转移到上地壳的硅铝层，故相继熔出了英安质和流纹质岩浆。

三、岩浆岩与内生矿产的关系

本区是长江中下游成矿带的一个组成部分，内生矿产较为丰富。这些矿产在空间上和时间上均与燕山晚期岩浆岩有密切的关系。矿种在空间分布上的一个重要特点是具有区域性的差异。西区：以铁为主，兼有铅、锌、银、铜等多金属矿。矿产地有：梅山、大红山、蒋王庙等铁矿，栖霞山、大凹山铅、锌、银矿；中区：以铜矿为主，兼有铁和钼、铅、锌多金属矿，矿产地有：安基山、伏牛山、铜山等铜矿和韦岗铁矿，还有20余个小型铜、铁矿床和矿点；东区：以钨钼矿为主，兼有铜、铅、银矿(化)，已知有谏壁钨钼矿、九华山铜矿(化)、

马迹山铅锌矿(化)等。

上述矿产布局与岩浆岩的分区是一致的。反映了两者之间的成生联系。

西区的岩浆岩以中基性岩为主，其化学成分中相对富铁和亲铁元素V、Ti、P等。岩石中全铁($\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$)含量8%左右，是中区和东区中一酸性岩浆岩全铁含量的两倍。同时，岩浆中富含钠质，在岩浆分异过程中，钠质促使铁从岩浆中分离，形成岩浆型铁矿和矽卡岩型铁矿。该区铁矿石类型为磁铁矿—磷灰石型，矿石中富含V、Ti、P，与中区韦岗铁矿石相比，其矿石中 V_2O_5 、 TiO_2 和 P_2O_5 与全铁比值高数倍至数十倍(表III-67)。同样，岩石中的副矿物磁铁矿中的V、Ti含量，西区也比中区约高一倍。说明矿石与岩石在地球化学特征上是一致的，两者具有亲缘关系。在岩浆演化过程中，V、Ti、P的最大丰度值出现在基性岩浆阶段，其次为中性岩浆阶段(167)，因此，西区富含V、Ti、P的铁矿石正说明是该区中一基性岩浆演化到一定阶段的产物。

表三-67 西区和中区的磁铁矿V、Ti、P含量

岩区	岩石中的磁铁矿(副矿物)		矿石中的磁铁矿		
	$\text{V}_2\text{O}_5/\text{TFe}\%$	$\text{TiO}_2/\text{TFe}\%$	$\text{V}_2\text{O}_5/\text{TFe}\%$	$\text{TiO}_2/\text{TFe}\%$	$\text{P}_2\text{O}_5/\text{TFe}$
西区	0.57	2.41	0.29—0.49	0.38—1.13	3.9
中区	0.28	1.40	<0.01	0.05	0.075

中区以中酸性岩为主，岩体富含铜及亲铜元素。以中区的安基山杂岩体与西区中酸性的其林门杂岩体相比，其岩石及单矿物中的铜含量均显著地高于后者(表III-68)。而且，岩石中含有较丰富的F、Cl等矿化剂(表III-69)，据张本仁的资料，黑云母中富含F、Cl是成矿的有利标志*，该区黑云母的F、Cl含量是世界一般酸性岩F(800ppm)、Cl(240ppm)含量的3—10倍。同时，根据硅—碱及K-Na.相关图来判别(图III-57)，中区岩体的投影点大部分落在(含Fe)Cu区，说明其成矿专属性是以铜为主，兼有铁，与实际情况相符。

表三-68 中区和西区中酸性岩体及其单矿物Cu含量

岩区	岩体	(ppm)		
		岩石	磁铁矿	黑云母
中区	安基山	48.34	109	55
西区	其林门	11.29	46	40

表三-69 中区花岗岩类岩石、矿物中F、Cl含量(ppm)

元素	岩石	黑云母	磷灰石	角闪石
F	501	2300—3200	2100	2100
Cl	267	1600—2600	9500	1300

中区亦有为数甚多的铁矿，但其矿石特征与西区铁矿有显著的区别。中区矿石类型为磁铁矿—硫化物型，矿石含硫量达2.8—4.93%，西区矿石含硫量仅为0.01—0.33%；而且，中区铁矿石中含有较多的Cu、Pb、Zn等亲硫元素，甚至于部分矿体含铜量达工业品位；中区铁矿石的元素组合为Fe—S—Cu—Pb—Zn，而西区为Fe—P—V—Ti。说明这两个区域的成矿物质来源有所不同。

*张本仁，1981年资料。