

宁芜玢岩铁矿成因新论:同化作用、高侵位和铁质聚合

丁 毅

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

摘 要: 通过矿物学、岩石学、矿床学、地层学等学科的综合研究证明: 宁芜地区中生代中基性岩浆在其上侵和在高位岩浆房就位过程中, 同化了基底青龙群灰岩和石膏灰岩; 辉石闪长玢岩是早于辉石安山岩的高位侵入体, 它是以侵入产状为主的; 梅山富矿体是由形成闪长玢岩的岩浆中的铁质分馏、聚合而成, 被同化的成分犹如添加剂, 促进了这种不混溶成矿流体的形成。下扬子地区中下三叠统青龙群的分布是这一地区与火山岩有关的铁矿、铀矿形成的重要因素。

主题词: 同化作用 玢岩铁矿 宁芜

宁芜玢岩铁矿驰名中外, 这一地区的地质研究程度也较高, 然而不仅对该地区的梅山富矿体的成因存在许多不同的观点^[1~7], 而且对该地区最主要的岩石——辉石闪长玢岩和辉石安山岩的早晚生成关系, 以及辉石闪长玢岩的产状也存在争议^[1, 4]。

1 基础地质特征

宁芜地区位于长江下游地区(图1), 大地构造位置为扬子地台北缘。该地区出露约1000 km²的白垩纪($123 \times 10^6 \sim 91 \times 10^6$ a^[4, 17])中基性至中酸性火山岩。自中生代以来该地区未发生大的褶皱构造运动, 火山盆地属继承式。因此, 由地层深部至浅部的岩石(除闪长玢岩外)是由老至新的(括号内数字为厚度)。大王山至娘娘山火山岩的厚度是钻孔中岩石厚度, 其它岩石厚度据文献^[4, 10]:

T₁₋₂ 青龙群(600~1000m) 灰岩夹石膏层、泥灰岩。

T₂ 黄马青组(600m) 砂页岩夹白云岩。

J₁₋₂ 象山群(800m) 砂页岩、石英砂岩。

J₃ 西横山组(1000m) 石英砂岩。

K₁ 辉石闪长玢岩(晚于上覆龙王山组沉火山碎屑岩)。

K₁ 龙王山组(165.14m) 沉凝灰岩、沉集块岩。

K₁ 大王山组(152~240m) 辉石安山岩。

K₁ 大王山组(11~250m) 黑云母安山岩夹凝灰质粉砂岩。

丁毅, 男, 36岁, 助理研究员, 岩石学专业。邮政编码: 100037

● 褚克南, 1981, 华东冶金地质, 第6期

K₁ 姑山组 (18~122m) 石英角闪安山岩、火山角砾岩。

K₁ 娘娘山组 (44~117m) 火山集块岩、黑云粗面英安岩。

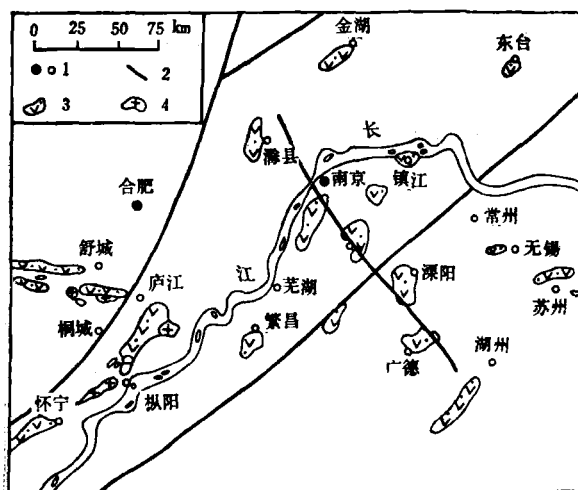


图 1 下扬子中生代火山岩分布图

(据[13]修改)

1—城镇；2—断裂；3—火山岩；4—花岗岩

Fig. 1. Distribution of Mesozoic volcanic rocks in Lower Yangtze valley.

1—Cities and towns; 2—Fault; 3—Volcanic rocks; 4—Granite.

在以上各组火山岩中, 辉石闪长玢岩和辉石安山岩是这一地区分布广、体积较大和与铁矿有关的岩石。根据宁芜北段火山熔岩所出露的面积和岩石的平均厚度(闪长玢岩按岩心的平均长度)可计算出岩石的体积, 然后可计算出各火山岩所占的百分比。经计算: 辉石闪长玢岩占 71%, 辉石安山岩占 17%。

辉石闪长玢岩为细密斑状结构和连续不等粒斑状结构。斑晶斜长石占 56%~71%, 晶体大者 $An=55\sim59$, 晶体小者为 $An=44\sim57$ 。辉石占 17%~20%, 有普通辉石 ($Wo=42\%$, $En=44\%$) 和紫苏辉石。

辉石安山岩, 斑晶斜长石占 13%~21%, 构成连续不等粒斑状和线斑结构。环带构造斜长石核部 $An=46\sim54$, 边部 $An=42\sim44$ 。普通辉石 ($En=41.5\%\sim48\%$, $Wo=41.5\%\sim45\%$) 占 10.4%~12.59%, 紫苏辉石 $En=67\%\sim68\%$ 。

梅山铁矿由致密块状的富铁矿和细脉浸染状贫铁矿组成, 两者界线截然, 为两个不同的成矿作用阶段的产物。富铁矿体长 1370m, 宽 824m, 最厚为 293m, 矿体边部薄、中间厚。矿石矿物由直径小于 0.1mm 的磁铁矿组成, 脉石矿物极少, 主要为碳酸盐矿物、石英和磷灰石。该富矿体分布在闪长玢岩体内的上部。

2 岩浆的同化作用

三叠纪期间下扬子地区先后处于深海相和浅海相环境, 形成有近千米之厚的碳酸盐岩和石膏层。而白垩纪闪长质岩浆由地下深处向地表运移过程中必然穿过并同化该层, 在局部隆起地段, 高位岩浆直接同化该层(如凤凰山、钟九、南京岔路口)。由于被同化岩石较易被炽热的岩浆所完全吸收, 因此同化的结果会造成母岩的化学成分分布的不均匀性, 而要在其中找到碳酸盐岩的捕虏体是困难的。我们可以预料被同化岩所富有的元素将会对母岩的相应元素产生较大的影响。以下是岩浆同化三叠纪青龙群碳酸盐岩的主要证据:

(1) 被同化岩石所富有的元素与火山岩中变异系数较大的特征元素相一致。

岩浆发生了同化作用, 往往使得所同化吸收的元素在火成岩中分布不均匀。经统计(括号内为件数): 辉石闪长玢岩、辉石安山岩和石英角闪安山岩的 CaO 标准离差分别为 2.17 (26)、0.74 (6) 和 1.16 (3), 它们的变异系数 ($Cv\%$) 分别为 28、10.65 和 20.88。前二种岩石 Sr 的标准离差 (10^{-6}) 分别为 245.73 (7)、461.30 (3), 平均值 (10^{-6}) 为 772.94 和 1160

C_0 (%) 分别为：31.79 和 39.77。

梅山地区的泰山和小山两地的岩石背景值也反映出火山岩及其晚期热液所形成的石英岩富含特征元素 Sr (表 1)。

1984 年所发现的●梅山铁矿天青石脉，以及最近^[8]发现的泰山等地十几个矿点也都证明岩浆晚期热液富含 Sr 元素。

而基底青龙群灰岩和灰岩中石膏夹层是数千米沉积岩中最易被同化的岩石。其 CaO 和 SrO 的含量都是较高的 (表 2)。

表 1 泰山、小山两地岩石 Sr 的平均成分

Table 1. Average Sr composition of rocks from Taishan and Xiaoshan

地 点	岩石名称和 Sr 的平均值 (%)
泰 山	岩屑晶屑凝灰岩(19)0.0263
	闪长玢岩(112)0.0217
	安 山 岩(57)0.0174
	石 英 岩(4)0.0100
小 山	岩屑晶屑凝灰岩(39)0.4012
	闪长玢岩(5)0.1240
	安 山 岩(21)0.0590
	石 英 岩(10)0.6780

据[8]

表 2 宁芜青龙群石膏层化学成分 (%)

Table 2. Chemical composition of gypsum bed in Qinglong Group, Ningwu (Nanjing-Wuhu) area (in percentage)

名 称	CaO	MgO	SO ₃	SrO	SiO ₂	备 注
含石膏的泥灰岩	34.46	7.75	27.49	0.17	3.18	K ₂ O = 0.11 Na ₂ O = 0.06 BaO = 0.0011 F ⁻ = 0.019 Cl ⁻ = 0.023 H ₂ O = 0.74
块状硬石膏	39.68~41.65	0.97~2.50	49.0~56.0	0.09~0.50	0.28	[9]
角砾状硬石膏	36.91	5.74	39.17	0.39~0.80		
冰石膏	30.92~33.02	0.08~1.88	40.90~45.51	0.07~0.29		

(2) 青龙群各组岩石等厚线的延伸方向均为北东方向^[10] (图 2)。其分布与火山岩盆地的长轴方向一致，这就使得岩浆有更大的机会同化青龙群。其中东马鞍山组夹有石膏层。北段钻孔中该层累加厚度为 112 m。该层和其它层的主要组成矿物为方解石、白云石和硬石膏，其晶格能之低易被炽热的岩浆所完全同化。

● 文满英、丁毅的研究报告 (1984)

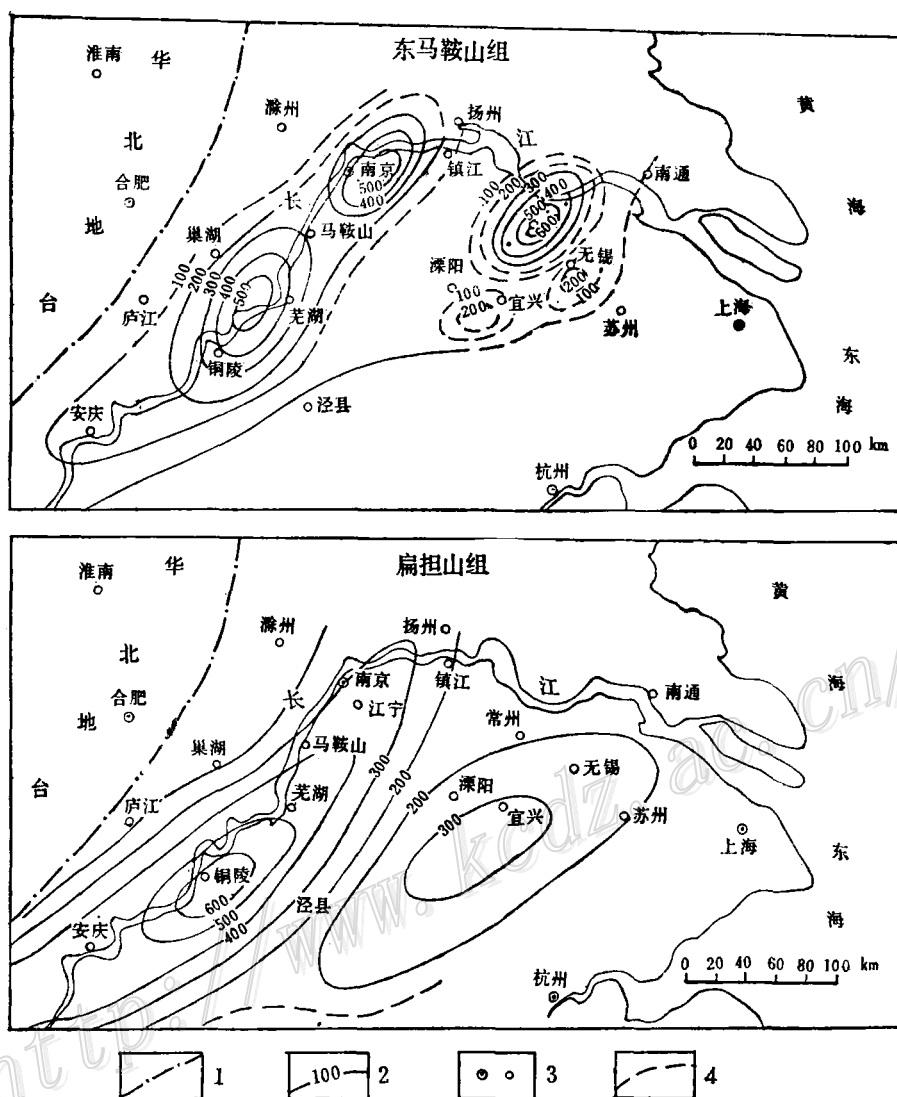


图 2 下扬子地区 T_{1-2} 东马鞍山、扁担山组厚度等值线图

(据^[10], 修改)

1—地台界线; 2—厚度等值线; 3—居民点; 4—推测厚度

Fig. 2. Isopach map of Dongmaanshan Formation and Biandanshan Formation (T_{1-2}) in Lower Yangtze Valley.

1—Boundary of platform; 2—Thickness contour line; 3—Residential quarters; 4—Inferred thickness.

(3) 岩浆分异作用形成的一套岩石的 SI 值应与其它氧化物参数、同位素参数呈线性关系^[11], 而岩浆的同化作用、壳层物质的混染往往会破坏这种关系。宁芜北段的主要四种火山岩, 仅反映岩浆演化的 SiO_2 、 MgO 、 TiO_2 具有与 SI 的线性关系外, 其它氧化物和氧同位素均不具有与 SI 的线性关系^{①②}。

① 丁毅研究生论文(1985)

② 薛怀民研究生论文(1988)

(4) 斜长石号码呈现多峰值现象。特别是宁芜北段闪长玢岩斜长石 $An=45\sim 85$ 。斜长石号码变化范围大,一方面反映了岩浆漫长的结晶演化过程,但另一方面说明岩浆同化 T_{1-2} 岩石,使岩浆体内的 CaO 成分分布不均匀,从而导致斜长石牌号 An 变化较大。

(5) 同期岩浆演化所形成的石英角闪安山岩中发现有基底沉积岩的捕虏体。这种岩石是梅山地区在地表唯一开采用做石材的火山岩,有较好的裸露断面,并且岩石的颜色为灰色、浅灰色,这两个因素使得在其中发现捕虏体比在其它岩石中发现捕虏体要容易的多。

(6) 岩浆期后热液活动是岩浆活动的继续。除上述天青石脉外,在其它热液脉中的包裹体内发现有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 F^- 、 $Cl^{-(2)}$ 。另外,梅山富铁矿的化学成分中 $CaO=7.19$, $MgO=1.87$ ^① 以及含硫较高说明:不仅火山岩的特征元素而且与火山岩密切相关的铁矿以及热液成分的特征元素也与 T_{1-2} 青龙群所富有的元素相一致。

3 辉石闪长玢岩是早于辉石安山岩形成的高位侵入体

习惯上认为:次火山岩是比喷出岩晚,有一定厚度盖层的超浅成侵入体。在宁芜地区辉石闪长玢岩和辉石安山岩,两者①同位素年龄接近(分别为 $123.4 \times 10^6 a$ 和 $121 \times 10^6 a$);②两者的接触界线由于热液蚀变的影响难以分清。长期以来认为^{〔4〕}辉石闪长玢岩是比辉石安山岩晚成的次火山岩体。然而,本人根据如下证据认为它们的生成顺序恰好相反。主要证据有:

(1) 辉石安山岩中有许多辉石闪长玢岩的角砾。这种角砾见薄片率较高。角砾具有闪长玢岩的细密斑状结构,斜长石 $An=50\sim 70$ 。角砾直径为 $0.5\sim 1 cm$ 的不规则圆形和椭圆形。并且有人已在手标本中发现了较大的角砾。

(2) 这两种宁芜地区分布最广的岩石同属一个岩浆演化系列已为公认。按照本文所论证的生成顺序,常量元素和微量元素则呈现通常的地球化学演化规律: $SiO_2(\%)$: $53.22(26) \rightarrow 56.44(6)$, MgO $3.71(26) \rightarrow 3.48(6)$, $K_2O + Na_2O$ $5.91(26) \rightarrow 6.63(6)$, δEu $1.07(10) \rightarrow 0.91(3)$, $LREE$ $86.86(10) \rightarrow 135.20(3)$, $LREE/HREE$ $7.48(10) \rightarrow 9.30(3)$ (括号内为样品数)。

(3) 在 $An-Ab-Di$ 相图中,由辉石闪长玢岩向辉石安山岩投影点连线方向是由液相面向共结线,由高温向低温方向的。

而世界上罕见的反向岩浆演化不适合解释宁芜地区火山岩浆演化。岩浆的同化作用也只会增加岩浆中的 Ca 、 Mg 、 SO_3 和 Sr ,而不影响如上主要氧化物参数的变化。

辉石闪长玢岩是先于辉石安山岩形成,其盖层是龙王山组沉火山碎屑岩,这一点在牛首山可看得很清楚。但该层最厚也只有 $160 m$ 。地形的起伏、岩石的固结程度较差都有可能使闪长质岩浆熔透该层而形成熔岩。在北段的其林山、大山和牛首山等地的钻孔中均可见熔岩产状的闪长质火山岩。但是,闪长玢岩的总体仍为侵入体,其主要依据是:

①从宁芜整个地区的宏观上来看闪长玢岩不是似层状地质体^②,而是在“厚度”上变化不定,大起大落。梅山地区的所有钻孔均未打穿闪长玢岩,有的钻孔岩心长达 $1056 m$,闪长玢岩就为 700 多米,而在盆地的其它地方却打穿了它。

● 林师整等,1980,华东冶金地质,第1期

● 褚克南,1981,华东冶金地质,第6期

②从局部地区来看,凤凰山的辉石闪长岩是侵入产状,这是学者们所公认的,而闪长岩与闪长玢岩同是一个侵入体,属相变关系。梅山钻孔浅部岩心所见为闪长玢岩,而深部为辉石闪长岩,颗粒由细逐渐变粗,可与凤凰山闪长岩相对比。并且,这两个地区的 REE 分布型式相同,化学成分对应,物探资料^[4]也证明它们是底部相连、同一期岩浆作用的产物。

③闪长玢岩具有自己的特有结构,辉石闪长玢岩之上的四种熔岩都具有斑晶的熔蚀结构和线斑结构,而在辉石闪长玢岩中却没有。这表明:闪长玢岩的形成环境是温度和氧逸度都较低、流动性较差的侵入环境。闪长玢岩的基性程度较高,如果处于喷出地表的环境,则更容易形成熔岩所具有的各种结构。

4 梅山铁矿的主矿体是由闪长质岩浆中的铁质分馏、聚合而成

4.1 富矿体的铁质是由岩浆分馏而来。这一结论的主要证据有:

① 铁矿形成的温度较高。矿石矿物磁铁矿的成矿温度为 490~620 °C (66件)^①, 530~610 °C (15件)^②。按照矿床学对成矿温度的划分, 500~600 °C 应属岩浆熔离阶段所形成的岩浆矿床温度。

② 硫同位素。岩浆成因的硫化物具有较窄的 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ (接近 22.22) 和 $\delta^{34}\text{S}$ (接近零) 变化范围。而变质、沉积和地下水作用形成的矿床则显示较宽的变化范围。梅山铁矿虽然受基底沉积岩系的影响,但从表 3 的数据来看梅山铁矿的 S 同位素值仍接近岩浆矿床的范围。

表 3 岩石、矿床的硫同位素

Table 3. Sulfur isotopes of some rocks and ore deposits

岩石名称	$^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
火成岩	21.99~22.26	-2~+10
岩浆矿床	22.09~22.35	-7~+7
碳酸盐岩	20.84~21.95	+12~+61
宁芜周冲组海相石膏		+28.0~+28.8
梅山铁矿黄铁矿		+4.0~+10
梅山铁矿	22.20	+4.15

据 ①、[6, 14, 18]

③ 氧、碳同位素^③。宁芜姑山铁矿的块状矿石与梅山铁矿块状矿石相似,其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Mt}} = +3.1\text{‰}$, 而梅山 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Mt}} = +2.9\text{‰}$, 与姑山铁矿接近。一般认为深源 $\delta^{13}\text{C} = -4.0\text{‰} \sim -7.0\text{‰}$, 而明显地低于一般的海相碳酸盐 $\delta^{13}\text{C} = -1\text{‰} \sim +1\text{‰}$, 梅山主矿体磁铁矿 $\delta^{13}\text{C} = -4.1\text{‰} \sim -7.6\text{‰}$, 与深源 C 接近。

4.2 铁质分馏和聚合的自然机制

随着岩浆的演化,从宁芜基性岩浆中分离出的富铁流体逐渐聚集,并与岩浆不混溶。岩石薄片可见密布的磁铁矿颗粒以及辉石等单矿物晶体中的铁质析出物即可证明铁质本身具有其分馏的趋向。这种铁质分馏和聚合的机制可能性以下列事实为佐证:

① 林师整等, 1980, 华东冶金地质, 第 1 期

② 蔺雨时等, 1980, 华东冶金地质, 第 2 期

③ 同位素数据取自张其春研究生论文 (1982)

① 智利的拉科铁矿浆与硅酸盐岩浆不混溶,直接从火山口溢流而出,已成公认的事实^[19]。在我国的福建省凝灰岩和流纹岩中也发现有铁球^[15]。在我国的大兴安岭南端也发现有与硅酸盐熔浆熔离作用有关的豆状、条带状二辉安山岩。

② 实验岩石学研究表明^[6]:方铁矿(Wu)—磷灰石(Ap)—透辉石(Di)—霞石(Ne)四元系中的 Wu=0%~55%, Ap=20%~60%, Di=0%~52%, Ne=0%~52% 范围内可发生液态分离,含铁硅酸盐熔浆能够通过液态分离作用形成硅酸盐熔浆和铁矿浆。自由能(-G)计算^[5]也证明这种仿梅山火山岩合成的人造硅酸盐熔体是能够分成两相的。

5 模式的讨论

岩浆同化基底碳酸盐岩及其夹层,闪长玢岩是早于辉石安山岩形成的高位侵入体,铁质从岩浆中分馏和聚合,这三个方面是紧密联系的一个有机的整体,构成梅山富铁矿成因的新观点。随着岩浆的分异演化,铁质具有从岩浆中分馏的趋向,岩浆通过同化作用所捕获的 Ca、Mg、CO₃²⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、F⁻ 和 Sr,促进了铁质的分馏和成矿流体与硅酸盐熔融体的不混溶;岩浆在近地表就位,使得岩浆和成矿流体处于减压沸腾环境,低压下有利于形成成矿流体和促进铁矿浆与硅酸盐熔浆的不混溶。铁矿浆处于减压沸腾状态以及挥发分的参与,有利于铁矿浆在岩体上部冷凝成矿。这一成矿新论有助于解释梅山富铁矿的耐人寻味的现象——矿浆处于低压淬火环境形成:①致密块状铁矿体,矿石矿物磁铁矿颗粒细(<0.1 mm)、硬度高(磁铁矿的硬度为全国同类矿床中最高的);②岩浆体内大量气体上逸,形成梅山铁矿上部的上密下稀、上大下小的大量气孔和晶洞。

6 结束语

本文以梅山铁矿为典型例子说明,岩浆同化基底碳酸盐岩和石膏层对岩浆成矿会起到很重要的作用。因此,在寻找矿床时,重视基底岩石这一成矿因素十分重要。结合图1和图2不难看出下扬子中生代火山岩区是铁矿和锆矿的理想分布区域。

感谢李兆熊研究员的指导。本人在工作中先后得到文满英、林洪民、张和应、许颜明、缪士鼎、周新民、孙有孔、张守仁、李忠豪、尚如相、褚克南的指导和帮助,一并表示谢意。

参 考 文 献

- 1 袁家铮,与铁矿浆成矿作用有关的 FeO-Ca₃(PO₄)₂-Ca Mg Si₂O₆-Na Al SiO₄ 四元系内两液相的实验研究,矿物岩石学论丛(4),北京:地质出版社,1988,152~162
- 2 卢冰等,宁芜型铁矿床成因和成矿模式的探讨,矿床地质,1990, 9(1): 13~25
- 3 张光耀,我国主要内生铁矿产交代机理探讨,地球化学,1985,(1)
- 4 宁芜研究项目编写小组,宁芜玢岩铁矿,北京:地质出版社,1977.
- 5 苏良赫,段年高,从自由能计算判别硅酸盐熔体之不混溶,地球化学,1989,(1)
- 6 张兴隆,试论梅山铁矿的矿浆成因,江苏地质,1980,(2)
- 7 朱增青,梅山铁矿富铁熔浆运移的探讨,地质科学,1987,(3)
- 8 刘振红,苏南锆矿成矿作用讨论,江苏地质,1990,(2)
- 9 陶维屏,中国海积三叠纪石膏矿床,地质学报,1983,(2)
- 10 冯增昭等,下扬子地区中下三叠统青龙群岩相古地理研究,昆明:云南科技出版社,1988.
- 11 万渝生,批式熔融和分离结晶作用元素间线性关系的对比及有关问题的讨论,地学探索(2),武汉:中国地质大学出版社,1989.

- 12 蔡本俊. 蒸发岩对(偏)碱性岩的控制意义. 矿物岩石, 1982, 2(4)
- 13 吴利仁等. 长江中下游中生代火山岩. 岩石学研究(5). 北京: 地质出版社, 1985.
- 14 陈锦石. 三叠纪海的同位素. 地质科学, 1986, (4)
- 15 张之桑. 火山(自然)铁球及其地质意义. 福建地质, 1987, 6(1)
- 16 颜文瑞. 条带状—豆状英安岩的岩石特征及成因探讨. 地质实验室, 1988, (4)
- 17 Wang Songshan, Ian McDougall. K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on Mesozoic volcanic rocks from the Lower Yangtze volcanic zone, Southeastern China. Journal of the Geological Society of Australia, 1980, 27: 121~128
- 18 Ault W U. Isotopic fractionation of sulfur in geochemical processes. In: Researches in Geochemistry, Vol. 1. New York: John Wiley and Sons Inc., 1959, 241~259
- 19 Rogers D P. The extrusive iron oxide deposits, El Laco Chile. Econ. Geol., 1968, 63:700

A NEW THEORY CONCERNING THE ORIGIN OF THE NINGWU (NANJING-WUHU) PORPHYRITIC IRON DEPOSITS: ASSIMILATION—HIGH-LEVEL EMPLACEMENT—AGGREGATION OF FERRUGINOUS SUBSTANCE

Ding Yi

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

The complexity of the geologic bodies makes it necessary for us to study and observe them from various angles of knowledge. Much evidence acquired from field and indoor petrological, mineralogical and stratigraphic studies show that during the upward intrusion of magma and its cooling in the high-level magma chamber the K-J magma assimilated T anhydrite layer 120 m in thickness and T limestone. Pyroxene diorite-porphyrite formed earlier than the overlying pyroxene andesite, suggesting that during the formation of pyroxene diorite porphyrite its overlying rocks were merely pyroclastic rocks 160m thick, and at some places dioritic magma extruded to form lava. The high-level magma was in a condition of reduced pressure and boiling, which helped the separation of ferruginous substance from the magma and raised its immiscibility. As is demonstrated by many experimental results and natural phenomena, Fe-O tetrahedron itself has the capability of aggregation.

Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Sr^{4+} , CO_3^{2-} , Cl^{-} and F^{-} provided by assimilated rocks played an important role in the formation of iron and strontium deposits in the Lower Yangtze Valley in that these assimilated elements "drove" ferruginous substance from silicate lattices and rendered hydrothermal solutions enriched in Sr.

The author holds the opinion that basement rocks might affect the alkalinity, type and species of igneous rocks and even the distribution of ore deposits, and therefore the theory and mathematic model for studying assimilation and mixing of magma not only contribute to the petrological research but also have practical significance. Basement rocks can either directly serve as the ore source or make up a prerequisite for the separation of ore substances from magma.