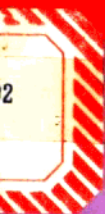


# 下扬子地区火山作用 深部过程与盆地形成

邓晋福 叶德隆 赵海玲 汤德平 等著

中国地质大学出版社



# 前 言

本专著是根据国家“七五”攻关54项中“扬子地区区域地球物理场的综合地质解释和深部地质组成”课题的部分研究成果撰写而成的。该课题要求通过对下扬子地区火山岩的研究,建立该区深部作用的岩石学模型,并与地球物理模型相结合,以期更好地探讨下扬子地区盆地的形成演化和油气资源评价等问题。

当代地质学发展中的一个重要特点是注重于深部作用过程的研究。对岩石圈—软流圈不同深度上物质组成、结构和温度分布的了解,是研究油气盆地形成和演化的深部约束所必须的资料。以往对深部情况的了解仅依赖于地球物理研究成果。苏联科拉超深钻等科学成果表明,地球物理方法对深部情况的解释仍有一定的局限性。近年来,在深部作用研究方面一个新的发展趋势是重视岩石学的研究手段,因为火山作用是深部作用过程的直接表现,由火山喷发带到地表的上地幔—下地壳碎块(深源包体),是人们能够直接见到的深部物质标本,通过对火山岩及其中深源包体的研究,可以获取深部作用过程的许多信息。因此,将地球物理模型与岩石学模型和地球化学模型相结合,可能对研究地区的上地幔—地壳结构提供更好的约束条件。

下扬子地区已进行了较多的地球物理工作,HQ—13、HQ—4、HQ—8和HQ—9线都取得了丰富的地球物理成果。尤其是HQ—13线的地球物理—地质综合解释,对下扬子地区深部情况和壳幔结构特征提出了许多新的认识和资料。

下扬子地区广泛分布有各地质时代的火山岩,其中新生代玄武岩在皖东、江苏长江两岸和浙北等地广泛出露,中生代中酸性火山岩在苏南、浙西北和皖南等地广泛分布,在皖南部部分地区还出露有元古宙火山岩。以往对该区火山岩的研究工作主要集中在火山机构查定、火山喷发期次和旋回划分、火山岩相划分、火山岩岩石化学和岩相学以及火山岩与铁、铜矿产成矿关系等方面。对岩浆起源和演化及其与构造环境关系、火山活动与深部作用关系方面的研究涉及较少,对火山活动与油气盆地关系的研究涉及更少。

基于上述情况,本课题尝试将火山岩的研究与油气盆地形成演化的研究相结合,在研究途径方面,不同学科互相渗透,“水火交融”。对火山岩的研究,主要采用地质学、岩石学、地球化学研究相结合的方法。首先,通过野外地质调查,搞清火山喷发时代和顺序,划分火山活动的期次、旋回和韵律,查明火山岩的时空分布规律。在此基础上,再进行岩石学和地球化学研究,查明火山岩常量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征。然后,应用岩石物理化学、熔浆—矿物平衡热力学等最新理论和方法,弄清岩浆从上地幔或下地壳源区发生及随后在上升过程中的演化,上地幔—下地壳物质组成及其物理与化学参数性质,提出岩石学模型和地球化学模型。最后,对比地球物理资料,提出上地幔—地壳结构模型以及火山作用模型,讨论下扬子区油气盆地形成和演化的深部地质约束。

根据下扬子地区各地质时代火山岩分布的实际情况,按课题设计书要求,研究内容主要包括以下几方面:

1. 下扬子地区新生代玄武岩及其中幔源包体(以尖晶石二辉橄榄岩为主)的研究。工作地点包括皖东嘉山地区(女山),江苏南京附近火山群(六合方山、瓜埠山,江宁方山,

句容赤山、浮山、金坛方山), 安徽当涂釜山和浙北新昌、嵊县、衢州等地的玄武岩出露点。通过对玄武岩及其中幔源包体的岩石学和地球化学研究, 揭示玄武岩浆上地幔源区的物质组成、结构、热状态、塑性流变和交代作用的信息, 探讨新生代大陆裂谷岩浆作用过程, 建立上地幔结构的岩石学模型。

2. 下扬子地区中生代中-酸性火山岩研究。工作地点包括苏南溧水、溧阳、宁芜, 安徽庐枞、屯溪, 浙西北天目山、宋村等火山盆地。通过对中-酸性火山岩的时空分布规律、岩石学和地球化学特征、岩浆起源和演化的研究, 揭示中生代俯冲带岩浆作用特征, 建立地壳结构的岩石学模型。

3. 对皖南歙县、屯溪一带中、新元古代火山岩和蛇绿岩套进行初步的岩石学和地球化学研究, 并探讨其形成的地质构造环境。

4. 依据火山岩岩石学研究成果, 分析岩浆-火山作用的地质构造环境, 讨论下扬子区深部作用与盆地形成机理。

课题组的分工是: 科学顾问为学部委员池际尚教授, 组长邓晋福, 副组长叶德隆, 并负责元古宙火山岩小组, 赵海玲负责新生代火山岩小组, 汤德平负责中生代火山岩小组, 邵道乾和陈凤贤主要负责电子探针分析。先后参加本课题工作的还有莫宣学、毕先梅、李有柱、罗照华、孙平、黄鹏、孙兴东以及硕士研究生梁磊, 岩矿专业本科生杨晓泓、赵立男、黄金喜、丛良滋、朱四宏、靳墨菊、孙志成。

本专著是课题研究的集体成果, 各章执笔者如下: 第一章赵海玲、邵道乾, 第二章汤德平、陈凤贤, 第三章和前言叶德隆, 第四章和结论邓晋福。初稿于1990年7月由张淦昌、秦德余、陆国新、吴德源、蒋洪堪5位高级工程师评审, 并提出了宝贵意见。最后, 由邓晋福、叶德隆修改审定完成的书稿, 又经路凤香教授审阅。

本课题的研究工作是在地矿部石油地质中心实验室张淦昌、秦德余、陆国新高级工程师的支持和指导下完成的, 并得到吉让寿、范小林、蒋洪堪、高长林的许多帮助。野外地质调查工作曾得到江苏区调队陈后坤, 第二地质大队黄润生, 浙江区调队俞云文, 安徽区调队潘国强、姚仲伯, 322地质队赵玉琛、王启东, 332地质队林玉章、俞国民、顾家骏以及南京地矿所陶奎元教授的大力协助。本书除后列参考文献外, 还引用了赵海玲的博士学位论文和李有柱、黄鹏、孙平、梁磊的硕士学位论文的资料以及南京地矿所和332地质队的未刊资料。本书图件由张咏梅清绘。责任编辑赵颖弘为本书的出版做了大量工作。郭晖、张玲、张海英、周烨、任平协助清抄部分稿件。谨此深表感谢。

# 目 录

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| <b>第一章 新生代火山岩及上地幔</b> .....     | ( 1 )   |
| 一、新生代火山岩.....                   | ( 1 )   |
| 二、上地幔岩包体.....                   | ( 16 )  |
| 三、高压巨晶.....                     | ( 29 )  |
| 四、痕量元素地球化学特征.....               | ( 34 )  |
| 五、上地幔特征及演化.....                 | ( 39 )  |
| 六、岩浆的起源和演化.....                 | ( 41 )  |
| <b>第二章 中生代火山岩的成因和演化</b> .....   | ( 44 )  |
| 一、火山岩地质.....                    | ( 44 )  |
| 二、火山岩岩石学与矿物学.....               | ( 54 )  |
| 三、火山岩的岩石化学.....                 | ( 72 )  |
| 四、带状岩浆房.....                    | ( 103 ) |
| 五、岩浆的起源与演化.....                 | ( 111 ) |
| <b>第三章 皖南蛇绿岩套及新元古代火山岩</b> ..... | ( 122 ) |
| 一、蛇绿岩的地质分布.....                 | ( 122 ) |
| 二、伏川蛇绿岩地质剖面特征.....              | ( 124 ) |
| 三、伏川蛇绿岩的地质和岩石学特征.....           | ( 125 ) |
| 四、伏川蛇绿岩岩石化学和地球化学特征.....         | ( 129 ) |
| 五、皖南蛇绿岩的地质意义讨论.....             | ( 134 ) |
| 六、新元古代火山岩.....                  | ( 138 ) |
| 七、主要结论.....                     | ( 141 ) |
| <b>第四章 深部过程与盆地形成</b> .....      | ( 143 ) |
| 一、研究方法思路.....                   | ( 143 ) |
| 二、新生代火山作用、深部作用及大陆裂谷型盆地.....     | ( 145 ) |
| (一)大陆裂谷作用.....                  | ( 145 ) |
| (二)地壳—上地幔的物质组成、结构及热状态.....      | ( 147 ) |
| (三)软流圈埋深及性质.....                | ( 150 ) |
| (四)岩石圈的拉伸与减薄.....               | ( 151 ) |
| (五)大陆裂谷的扩张与飘移.....              | ( 154 ) |
| (六)大陆裂谷型盆地的形成.....              | ( 155 ) |
| 三、中生代火山作用、造山作用及其附生盆地.....       | ( 157 ) |
| (一)俯冲型火山作用.....                 | ( 157 ) |
| (二)俯冲作用.....                    | ( 161 ) |
| (三)造山作用及其附生盆地.....              | ( 166 ) |
| (四)岩石圈与地壳.....                  | ( 169 ) |
| 四、古生代大陆边缘盆地.....                | ( 171 ) |
| 五、盆地含油、气可能性的讨论.....             | ( 172 ) |
| <b>结论</b> .....                 | ( 173 ) |
| <b>参考文献</b> .....               | ( 177 ) |
| <b>英摘要文</b> .....               | ( 181 ) |
| <b>图版说明及图版</b> .....            | ( 187 ) |

# Contents

|                                                                                        |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Chapter 1. Cenozoic Volcanic Rocks and Upper Mantle .....                              | ( 1 )   |
| 一、Cenozoic Volcanic Rocks .....                                                        | ( 1 )   |
| 二、Upper Mantle Inclusions .....                                                        | ( 16 )  |
| 三、High-Pressure Megacrysts .....                                                       | ( 29 )  |
| 四、Trace Element Geochemistry .....                                                     | ( 34 )  |
| 五、Characteristics and Evolution of the Upper Mantle .....                              | ( 39 )  |
| 六、Magma Generation and Evolution .....                                                 | ( 41 )  |
| Chapter 2. Genesis and Evolution of Mesozoic Volcanic Rocks .....                      | ( 44 )  |
| 一、Brief Geology .....                                                                  | ( 44 )  |
| 二、Petrology and Mineralogy .....                                                       | ( 54 )  |
| 三、Petrochemistry .....                                                                 | ( 72 )  |
| 四、Zoning Magma Chamber .....                                                           | ( 103 ) |
| 五、Magma Generation and Evolution .....                                                 | ( 111 ) |
| Chapter 3. Wannan Ophiolite and Upper Proterozoic Volcanic Rocks .....                 | ( 122 ) |
| 一、Distribution of the Ophiolite .....                                                  | ( 122 ) |
| 二、Geological Profile of Fuchuan Ophiolite .....                                        | ( 124 ) |
| 三、Geology and Petrology of Fuchuan Ophiolite .....                                     | ( 125 ) |
| 四、Petrochemistry and Geochemistry of Fuchuan Ophiolite .....                           | ( 129 ) |
| 五、Geological Implications of Wannan Ophiolite .....                                    | ( 134 ) |
| 六、Upper Proterozoic Volcanic Rocks .....                                               | ( 138 ) |
| 七、Major Conclusions .....                                                              | ( 141 ) |
| Chapter 4. Deep Internal Processes and Basin Formation .....                           | ( 143 ) |
| 一、Methodology and Ideology .....                                                       | ( 143 ) |
| 二、Cenozoic Volcanism, Deep Internal Processes and Continental Rifting<br>Basin .....   | ( 145 ) |
| ( 一 ) Continental Rifting .....                                                        | ( 145 ) |
| ( 二 ) Composition, Structure and Thermal Condition of the Crust—<br>Upper Mantle ..... | ( 147 ) |
| ( 三 ) Depth and Nature of the Asthenosphere .....                                      | ( 150 ) |
| ( 四 ) Extension and Thinning of the Lithosphere .....                                  | ( 151 ) |
| ( 五 ) Spreading and Drifting of the Continental Rifts .....                            | ( 154 ) |
| ( 六 ) Formation of the Continental Rifting Basin .....                                 | ( 155 ) |
| 三、Mesozoic Volcanism, Orogenesis and the Subsidiary Basins .....                       | ( 157 ) |
| ( 一 ) Subduction Volcanism .....                                                       | ( 157 ) |
| ( 二 ) Subduction .....                                                                 | ( 161 ) |
| ( 三 ) Orogenesis and the Subsidiary Basins .....                                       | ( 166 ) |

|                                                              |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| ( 四 ) Lithosphere and Crust.....                             | (169 ) |
| 四、 Palaeozoic Continental Marginal Basin .....               | (171 ) |
| 五、 Discussion on the Oil-and Gas-Bearing of the Basins ..... | (172 ) |
| Conclusions .....                                            | (173 ) |
| References .....                                             | (177 ) |
| Abstract .....                                               | (181 ) |
| Plate Illustrations and Plate .....                          | (187 ) |

# 第一章 新生代火山岩及上地幔

新生代玄武岩和其中的上地幔包体是研究新生代地质构造、上地幔组成和演化的重要窗口。下扬子地区是寻找石油和天然气的重要远景区，该区盆地的形成和演化直接与上地幔的结构、热状态、玄武岩浆起源等因素有关。石油的成熟度、地热资源等也直接与上地幔热状态控制的地温有关。因此，本章的研究为下扬子地区新生代盆地的形成提供了地质背景和岩石学依据，也提供了深部地质作用和热状态的约束条件。

## 一、新生代火山岩

### 1. 新生代火山岩地质概述

早第三纪时期，本区在拉张应力的作用下，在苏北盆地、苏皖南部和浙北的一些裂陷盆地内沉积了红色碎屑岩、并伴随有多次玄武岩的喷发活动。

下扬子地区新生代火山岩是中国东部新生代火山岩发育区之一，是构成环太平洋新生代火山岩带的重要组成部分。下扬子地区主要有两个火山群。一个分布在江苏—安徽两省交界附近，空间上断续出露在苏北断陷盆地的西南边缘、郯庐断裂带的南端东侧，沿北西方向呈带状分布，并主要集中于嘉山—六合一带，通常称为嘉山—六合火山群。一些中心式火山锥呈NE或NNE和NW方向展布，与区域构造线方向一致。另一个分布于嵇县、新昌地区，位于NE向绍兴—江山深大断裂东南侧，为嵇县—新昌火山群。此外，在绍兴—江山断裂带上的金衢断陷盆地中，衢州的西垄和龙游一带，在苏南江宁至溧水一带，也有两个较小的火山群（图1-1）。

根据野外地质产状和K-Ar同位素年龄资料，可将本区新生代玄武岩划分为三期。第一期为老第三纪，以拉斑玄武岩为主，亦有一些碱性玄武岩，主要隐伏在苏北盆地和金坛凹陷中，在当涂釜山、嘉山县明光镇亦有出露。第二期为新第三纪中新世和上新世，主要出露在六合火山群、江宁方山、句容赤山、金坛方山、釜山等地。该期可以划分为两个喷发旋回和其后形成的次火山岩。第一旋回为下方山玄武岩组，岩性主要为碱性橄榄玄武岩。据K-Ar同位素年龄（陈道公，1988），江宁方山下方山玄武岩为10.89Ma，六合方山下方山玄武岩为9.41Ma。第二旋回为上方山玄武岩组，岩性以Hy标准分子碱性玄武岩、夏威夷岩为主，个别地区见拉斑玄武岩。江宁方山上方山玄武岩为10.32Ma，六合方山上方山玄武岩为9.07Ma。第一、二旋回之间有凝灰质砂砾岩沉积。第二喷发旋回之后形成碱性辉绿岩岩脉，岩株或岩墙。嵇县—新昌火山群玄武岩的K-Ar同位素年龄为4—10Ma，亦为中新世—上新世的产物。岩性主要为碧玄岩、碱性橄榄玄武岩、Hy标准分子碱性玄武岩、石英拉斑玄武岩。第三期为第四纪更新世，主要出露在安徽嘉山县女山，当涂釜山，为强碱性系列的橄榄霞石岩和碧玄岩。

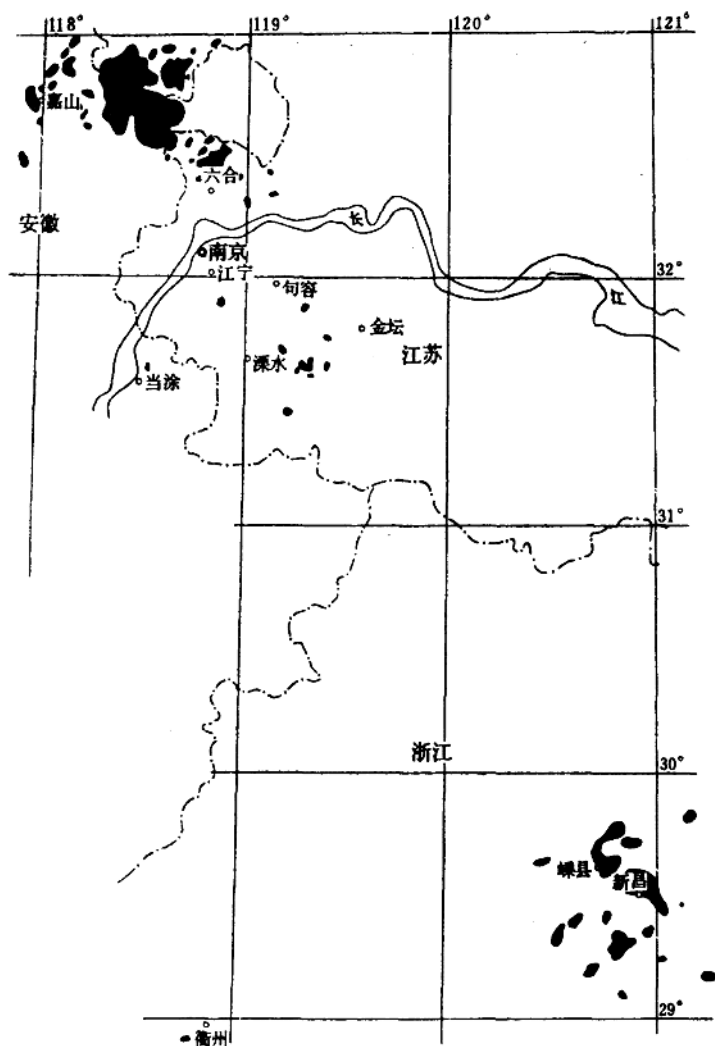


图1-1 下扬子地区新生代火山岩分布图

1:2000000

本区新生代火山岩多以中心式喷发为主，呈火山锥和熔岩台地覆盖于中生代地层之上。每一个具体火山活动地区一般可分为两个喷发旋回，两个旋回之间的时间间隔较短，且第二旋回的火山活动较第一旋回更为强烈。一般来说，随时间的推移，火山活动经历了爆发—喷溢—侵入三个过程，相应的岩石类型为火山碎屑岩—玄武质熔岩—辉绿岩。火山活动具有间歇性和韵律性，且随时间的推移，玄武岩的碱性程度有增加的趋势，这一规律与中国东部新生代玄武岩的活动规律是一致的，它可能反映了拉张作用减弱的构造环境。

## 2. 新生代火山岩岩石学特征

本区新生代火山岩按火山活动产物划分的岩石类型有：火山碎屑岩、熔岩和次火山岩，

火山碎屑岩有凝灰质火山砂砾岩、火山角砾岩和火山集块岩。熔岩有强碱性系列、碱性系列和拉斑系列的玄武岩。个别地区见晚期火山活动产生的玄武岩脉（如六合方山）侵入第二旋回火山活动产物中。次火山岩主要见于晚第三纪中新世玄武岩中，有深色辉绿岩和浅色辉绿岩两种类型，前者与第一旋回的下方山玄武岩呈侵入接触关系，呈岩株状产出，后者与第二旋回的上方山玄武岩呈侵入接触关系，主要充填于中心火山管道或贯入于周围的环状、放射状裂隙中。

#### (1) 火山岩系列划分与类型

表1-1列出了下扬子地区典型的新生代火山岩的化学分析结果和CIPW标准矿物组成。本文采用Kushiro（久城）（1978）的 $K_2O+Na_2O-SiO_2$ 图解（图1-2）进行火山岩系列的划分。本区火山岩可分为强碱性系列（ $\sigma > 9$ ）、碱性系列和亚碱性系列，并以碱性系列为主，强碱性系列次之，亚碱性系列不发育为特征。在嘉山-六合火山群，火山岩的系列和火山形成的时代密切相关，这明显地表现在 $K_2O+Na_2O-SiO_2$ 图解上。老第三纪玄武岩主要为亚碱性系列，投在Ⅰ区范围内；新第三纪形成的玄武岩为碱性系列，上方山玄武岩、次火山岩和玄武岩脉的投点基本上落在Ⅱ区范围内；下方山玄武岩的投点落在Ⅲ区范围内；第四纪更新世形成的玄武岩为强碱性系列，落在Ⅳ区范围内。嵯县-新昌火山群玄武岩基本上都位于碱性系列，且亚碱性系列的投点和碱性系列的投点十分靠近（图1-3）。这种现象表明，该区亚碱性系列玄武岩在化学成分上与碱性系列有连续性，暗示了二者之间的一种演化关系。

对于亚碱性系列，按 $Al_2O_3-An$ 图解（图1-4）可划分出拉斑系列和钙碱性系列。本区亚碱性系列玄武岩全部都是拉斑系列，无钙碱性系列。因此，本区玄武岩有碱性（包括强碱性）和拉斑两大系列。

根据 $K_2O-Na_2O$ 图解（图1-5），将本区玄武岩进一步作亚系列的划分，本区的火山岩钠质系列和钾质系列均有。在嘉山-六合火山群，除个别样品外，大部分样品均落在钠质系列范围内，这与华北地区新生代玄武岩相类似（池际尚，1988）。嵯县-新昌火山群既有钠质系列又有钾质系列，与嘉山-六合火山群相比，其钾质系列玄武岩增多。上述特征与东南沿海新生代玄武岩明显不同，东南沿海地区以钾质系列为主。

本章根据Irvine（1971）分类方案，在划分岩石系列基础上，再确定岩石名称。对于拉斑系列玄武岩，根据CIPW标准矿物计算结果进行岩石类型的划分。当 $OI > 25\%$ 时，定名为苦橄拉斑玄武岩。出现 $OI+Hy$ 时，定名为橄辉拉斑玄武岩。出现 $Q+Hy$ 时，定名为石英拉斑玄武岩。根据这一划分原则，本区拉斑系列主要为石英拉斑玄武岩和橄辉拉斑玄武岩。

对于碱性系列火山岩，根据 $CI-An$ 图解（图1-6），本区钠质系列有霞石岩、钠质碱性玄武岩、夏威夷岩，钾质系列有钾质碱性玄武岩、粗面玄武岩。其中，碱性玄武岩根据CIPW标准矿物可作进一步划分。含 $OI$ 且 $Ne > 5\%$ 者定名为碧玄岩，含 $OI$ 且 $Ne < 5\%$ 者定名为碱性橄辉玄武岩。这里需要强调的一点是，在“玄武岩四面体”（ $Di-Ne-OI-Q$ ）中，严格地讲，在低压下（ $< 1GPa$ ）存在的热界面并不完全与 $OI-Pi-Di$ 面相符，而是稍向右偏离（Kushiro，1972）。Kushiro（1978）还指出，在低压下的结晶过程中，标准矿物中只出现少许 $Hy$ 的玄武岩，可归为碱性玄武岩。经过研究，笔者认为，出现 $Hy$ 和 $OI$ 标准分子，甚至出现少许 $Q$ 标准分子的碱性系列玄武岩，可分别定名为 $Hy$ 标准分子碱性玄武岩和夏威夷岩。这种定名的合理性将在岩相学、矿物化学和稀土元素的研究中得到进一步证实。

#### (2) 火山岩岩相学特征

根据上述化学成分和CIPW标准矿物，本区火山岩划分为橄辉霞石岩、碧玄岩、碱性橄

表1-1 下扬子地区新生代火山岩化学成分 (wt%) 和CIPW标准矿物

| 地 点                            | 六 合 方 山 |       |       |        |       |                       |       |           |       |       |        |       |
|--------------------------------|---------|-------|-------|--------|-------|-----------------------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|
| 岩 石 类 型                        | 夏 威 夷 岩 |       |       |        |       | H <sub>2</sub> O碱性玄武岩 |       | 暗 色 辉 绿 岩 |       |       |        |       |
| 顺 序 号                          | 1       | 2     | 3     | 4      | 5     | 6                     | 7     | 8         | 9     | 10    | 11     | 12    |
| SiO <sub>2</sub>               | 46.67   | 46.72 | 47.40 | 47.46  | 47.10 | 46.88                 | 46.72 | 51.34     | 50.89 | 50.51 | 50.88  | 50.89 |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.83    | 1.79  | 1.81  | 1.94   | 2.33  | 1.85                  | 1.66  | 1.44      | 1.69  | 1.70  | 1.68   | 1.76  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.19   | 14.30 | 14.41 | 14.62  | 14.93 | 14.44                 | 14.39 | 14.84     | 15.00 | 14.84 | 14.65  | 15.20 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.05    | 0.05  | 0.05  | 0.05   | 0.04  | 0.04                  | 0.04  | 0.03      | 0.03  | 0.03  |        | 0.02  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.61    | 2.64  | 4.04  | 4.65   | 1.91  | 4.44                  | 4.17  | 2.53      | 1.45  | 1.93  | 4.93   | 3.40  |
|                                |         |       |       | (5.76) |       |                       |       |           |       |       |        |       |
| FeO                            | 7.82    | 7.79  | 6.60  | 7.13   | 8.68  | 6.86                  | 7.05  | 7.41      | 8.17  | 6.87  | 7.56   | 6.66  |
|                                |         |       |       | (6.13) |       |                       |       |           |       |       |        |       |
| MnO                            | 0.15    | 0.13  | 0.15  | 0.14   | 0.15  | 0.16                  | 0.13  | 0.08      | 0.14  | 0.11  | 0.15   | 0.15  |
| NiO                            | 0.04    | 0.04  | 0.03  | 0.03   | 0.04  | 0.03                  | 0.03  | 0.02      | 0.03  | 0.03  |        | 0.02  |
| MgO                            | 10.13   | 9.87  | 9.92  | 7.73   | 9.78  | 8.52                  | 8.65  | 8.25      | 7.82  | 7.52  | 7.32   | 6.75  |
| CaO                            | 7.26    | 7.70  | 7.50  | 7.92   | 7.04  | 8.37                  | 7.77  | 7.93      | 7.85  | 8.17  | 7.40   | 7.97  |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.09    | 3.65  | 3.19  | 4.34   | 4.16  | 3.13                  | 3.92  | 3.33      | 3.50  | 3.22  | 3.40   | 3.73  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.71    | 1.67  | 1.83  | 1.36   | 2.24  | 1.79                  | 2.24  | 1.38      | 1.48  | 1.43  | 1.64   | 1.75  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.63    | 0.65  | 0.62  | 0.63   | 0.53  | 0.06                  | 0.62  | 0.36      | 0.29  | 0.29  | 0.35   | 0.42  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.86    | 2.12  | 1.19  | 1.32   | 1.01  | 2.46                  | 1.72  | 0.57      | 1.05  | 1.98  | 0.59   | 1.13  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0.76    | 0.69  | 0.82  | 0.86   |       |                       |       | 0.76      |       |       |        |       |
| CO <sub>2</sub>                |         |       |       |        |       | 0.42                  | 0.27  |           | 0.07  | 0.72  |        | 0.06  |
| Σ                              | 99.80   | 99.81 | 99.56 | 100.18 | 99.94 | 99.99                 | 99.38 | 100.27    | 99.46 | 99.35 | 100.55 | 99.91 |
| Q                              |         |       |       |        |       |                       |       |           |       |       |        |       |
| Or                             | 10.13   | 9.85  | 10.80 | 8.01   | 13.24 | 10.63                 | 13.24 | 8.18      | 8.79  | 8.46  | 9.68   | 10.35 |
| Ab                             | 22.97   | 23.65 | 27.00 | 29.36  | 19.24 | 25.74                 | 21.08 | 28.15     | 29.62 | 27.21 | 28.78  | 31.56 |
| An                             | 15.30   | 17.72 | 19.86 | 16.41  | 15.41 | 20.03                 | 15.08 | 21.47     | 20.80 | 21.83 | 19.86  | 19.55 |
| Ne                             | 6.31    | 3.92  |       | 3.98   | 8.66  | 0.40                  | 6.53  |           |       |       |        |       |
| Di                             | Wo      | 6.07  | 6.78  | 5.59   | 7.87  | 7.33                  | 8.15  | 6.49      | 6.81  | 7.04  | 6.07   | 7.24  |
|                                | En      | 4.68  | 4.54  | 4.07   | 5.45  | 6.21                  | 5.65  | 4.18      | 4.10  | 4.53  | 4.03   | 4.79  |
|                                | Fs      | 1.77  | 1.74  | 1.00   | 1.78  | 1.52                  | 1.83  | 1.83      | 2.35  | 2.04  | 1.61   | 1.93  |
| Hyt                            | En      |       |       | 0.42   |       |                       |       | 10.22     | 5.03  | 9.71  | 11.28  | 4.73  |
|                                | Fs      |       |       | 0.11   |       |                       |       | 4.60      | 2.88  | 4.39  | 4.50   | 1.91  |
|                                |         |       |       |        |       |                       |       |           |       |       |        |       |
| Ol                             | Fo      | 14.24 | 14.06 | 14.17  | 9.68  | 14.03                 | 11.23 | 11.14     | 4.32  | 7.26  | 3.14   | 2.05  |
|                                | Fa      | 5.95  | 5.93  | 3.83   | 3.50  | 6.87                  | 3.57  | 3.99      | 2.16  | 4.69  | 1.53   | 0.94  |
| Mt                             |         | 3.80  | 3.84  | 5.88   | 6.74  | 2.78                  | 6.46  | 6.04      | 3.68  | 2.11  | 2.80   | 7.15  |
| Ilm                            |         | 3.47  | 3.40  | 3.43   | 3.69  | 4.42                  | 3.56  | 3.25      | 2.73  | 2.20  | 3.23   | 3.19  |
| Ap                             |         | 1.48  | 1.55  | 1.45   | 1.48  | 1.24                  | 1.41  | 1.49      | 0.84  | 0.67  | 0.84   | 0.98  |

续表1-1

| 地 点                            | 六 合 方 山 |        |        |        |        |        |        |           |        |        |        |        |        |       |    |
|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----|
| 岩 石 类 型                        | 夏 威 夷 岩 |        |        |        |        |        |        | 浅 色 辉 绿 岩 |        |        |        |        |        |       | 岩脉 |
| 顺 序 号                          | 13      | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20        | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26    |    |
| SiO <sub>2</sub>               | 50.05   | 50.48  | 51.59  | 50.77  | 50.70  | 51.42  | 50.92  | 51.78     | 52.28  | 51.92  | 52.95  | 53.44  | 53.81  | 49.36 |    |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.66    | 1.63   | 1.64   | 1.75   | 1.75   | 1.97   | 1.47   | 1.62      | 1.85   | 1.61   | 1.74   | 1.47   | 2.40   | 1.61  |    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.73   | 15.50  | 15.74  | 15.63  | 15.66  | 15.09  | 15.29  | 15.12     | 15.52  | 15.34  | 15.41  | 15.71  | 15.97  | 14.43 |    |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.04    | 0.03   | 0.03   | 0.03   |        | 0.03   | 0.03   | 0.03      | 0.02   | 0.03   |        | 0.01   |        | 0.04  |    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.10    | 4.12   | 4.12   | 4.07   | 4.89   | 4.17   | 4.11   | 4.62      | 4.23   | 3.39   | 4.42   | 4.11   | 5.20   | 3.98  |    |
|                                | (7.30)  | (6.90) | (8.33) | (7.61) | (6.95) | (6.72) | (8.67) | (5.48)    | (4.72) |        | (5.10) | (5.45) | (6.73) |       |    |
| FeO                            | 6.29    | 6.40   | 5.92   | 6.48   | 7.43   | 6.36   | 6.80   | 6.01      | 5.73   | 5.77   | 6.28   | 5.18   | 6.42   | 6.86  |    |
|                                | (3.41)  | (3.90) | (2.13) | (3.29) | (5.57) | (4.06) | (2.70) | (5.24)    | (5.16) |        | (5.67) | (3.97) | (5.04) |       |    |
| MnO                            | 0.11    | 0.10   | 0.10   | 0.11   | 0.17   | 0.14   | 0.06   | 0.10      | 0.14   | 0.14   | 0.13   | 0.06   | 0.15   | 0.18  |    |
| NiO                            |         | 0.01   | 0.02   | 0.02   |        | 0.03   | 0.02   | 0.02      | 0.01   | 0.02   |        | 0.10   |        | 0.02  |    |
| MgO                            | 5.51    | 6.03   | 5.27   | 5.58   | 6.50   | 5.63   | 5.36   | 5.81      | 5.22   | 6.96   | 5.15   | 4.39   | 1.67   | 7.90  |    |
| CaO                            | 7.62    | 8.25   | 7.82   | 7.96   | 7.39   | 8.23   | 7.97   | 8.29      | 7.72   | 8.88   | 8.20   | 9.16   | 6.56   | 7.65  |    |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.65    | 3.55   | 3.96   | 3.32   | 3.65   | 3.74   | 2.95   | 3.71      | 4.14   | 3.64   | 3.72   | 3.92   | 4.47   | 3.35  |    |
| K <sub>2</sub> O               | 1.56    | 1.45   | 1.66   | 1.34   | 1.53   | 1.28   | 1.25   | 1.61      | 2.01   | 1.32   | 1.76   | 1.46   | 2.46   | 1.43  |    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.49    | 0.45   | 0.48   | 0.42   | 0.33   | 0.35   | 0.39   | 0.43      | 0.42   | 0.29   | 0.33   | 0.37   | 0.56   | 0.41  |    |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 1.76    | 0.97   | 0.58   | 0.98   | 0.08   | 1.13   | 1.37   | 0.41      | 0.53   | 0.11   | 0.28   | 0.33   | 0.16   | 1.66  |    |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 1.66    | 0.90   | 0.76   | 1.13   |        |        | 1.74   | 0.45      |        | 0.39   |        | 0.39   |        | 0.84  |    |
| CO <sub>2</sub>                |         |        |        |        |        | 0.10   |        |           | 0.09   |        |        |        |        |       |    |
| Σ                              | 99.23   | 99.87  | 99.69  | 99.65  | 100.08 | 99.67  | 99.73  | 100.01    | 99.91  | 100.31 | 100.43 | 100.15 | 99.83  | 99.72 |    |
| Q                              | 0.46    |        |        | 2.22   |        | 1.24   | 4.55   | 0.64      |        |        | 1.77   | 2.91   | 4.41   |       |    |
| Or                             | 9.18    | 8.57   | 9.79   | 7.90   | 9.02   | 7.57   | 7.34   | 9.52      | 11.85  | 7.79   | 10.41  | 8.63   | 14.52  | 8.46  |    |
| Ab                             | 30.88   | 30.04  | 33.50  | 28.05  | 30.88  | 31.61  | 24.96  | 31.43     | 35.02  | 30.78  | 31.47  | 33.24  | 37.80  | 28.31 |    |
| An                             | 19.22   | 22.06  | 20.28  | 23.98  | 21.83  | 23.62  | 24.81  | 19.83     | 17.83  | 21.64  | 20.14  | 20.92  | 16.24  | 20.11 |    |
| Ne                             |         |        |        |        |        |        |        |           |        |        |        |        |        |       |    |
| Di { Wo                        | 6.46    | 6.43   | 6.43   | 5.37   | 5.31   | 7.47   | 5.12   | 7.73      | 7.43   | 8.58   | 7.82   | 9.24   | 5.31   | 6.33  |    |
| Di { En                        | 4.26    | 4.30   | 4.33   | 3.51   | 3.44   | 5.02   | 3.19   | 5.35      | 5.14   | 6.07   | 5.15   | 6.32   | 2.68   | 4.31  |    |
| Di { Fs                        | 1.74    | 1.66   | 1.62   | 1.48   | 1.50   | 1.89   | 1.62   | 1.75      | 1.69   | 1.77   | 2.11   | 2.19   | 2.51   | 1.53  |    |
| Hy { En                        | 9.47    | 10.12  | 8.79   | 10.39  | 9.08   | 8.99   | 10.16  | 9.11      | 5.86   | 9.15   | 7.67   | 4.61   | 1.48   | 8.76  |    |
| Hy { Fs                        | 3.86    | 3.92   | 3.32   | 4.38   | 3.98   | 3.35   | 5.14   | 2.97      | 1.93   | 2.68   | 3.13   | 1.60   | 1.33   | 3.11  |    |
| Ol { Fo                        |         | 0.44   |        |        | 2.57   |        |        |           | 1.41   | 1.48   |        |        |        | 4.63  |    |
| Ol { Fa                        |         | 0.18   |        |        | 1.20   |        |        |           | 0.49   | 0.49   |        |        |        | 1.81  |    |
| Mt                             | 5.95    | 5.97   | 5.97   | 5.93   | 7.08   | 6.04   | 5.97   | 6.69      | 6.14   | 5.58   | 6.41   | 5.97   | 7.50   | 5.76  |    |
| Ilm                            | 3.16    | 3.10   | 3.11   | 3.32   | 3.32   | 3.75   | 2.74   | 3.08      | 3.51   | 3.05   | 3.31   | 2.79   | 4.55   | 3.05  |    |
| Ap                             | 1.14    | 1.08   | 1.14   | 0.98   | 0.77   | 0.34   | 0.91   | 1.01      | 0.93   | 0.67   | 0.77   | 0.87   | 1.31   | 0.98  |    |

续表1-1

| 地 点                            | 江 宁 方 山 |        |       |       |        |       |       |       |        |       |        |       |
|--------------------------------|---------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 岩 石 类 型                        | 夏 威 夷 岩 |        |       |       |        |       |       |       |        | 辉 绿 岩 |        | 岩 墙   |
| 顺 序 号                          | 27      | 28     | 29    | 30    | 31     | 32    | 33    | 34    | 35     | 36    | 37     | 38    |
| SiO <sub>2</sub>               | 45.19   | 47.32  | 48.94 | 52.08 | 53.30  | 52.12 | 51.76 | 51.63 | 46.52  | 50.92 | 51.20  | 46.21 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.39    | 2.27   | 2.29  | 1.92  | 1.96   | 1.96  | 1.89  | 1.06  | 2.77   | 1.85  | 2.03   | 2.47  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.75   | 15.03  | 15.18 | 15.45 | 15.67  | 15.29 | 15.82 | 15.90 | 15.11  | 15.26 | 15.56  | 14.53 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |         | 0.031  |       |       |        |       | 0.034 | 0.028 |        |       | 0.023  | 0.021 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.08    | 8.15   | 8.88  | 6.29  | 5.73   | 5.30  | 5.11  | 6.41  | 6.99   | 10.71 | 4.09   | 8.92  |
| FeO                            | 6.04    | 3.60   | 2.56  | 4.54  | 5.08   | 5.31  | 5.44  | 3.95  | 4.52   | 0.75  | 6.29   | 3.19  |
| MnO                            | 0.15    | 0.137  | 0.16  | 0.16  | 0.15   | 0.17  | 0.121 | 0.103 | 0.09   | 0.19  | 0.145  | 0.149 |
| NiO                            |         | 0.023  |       |       |        |       | 0.017 | 0.020 |        |       | 0.011  | 0.027 |
| MgO                            | 8.06    | 5.78   | 5.95  | 4.83  | 4.76   | 5.34  | 5.04  | 4.40  | 5.12   | 6.38  | 5.98   | 5.58  |
| CaO                            | 8.86    | 9.05   | 8.13  | 7.61  | 7.70   | 8.04  | 7.64  | 7.68  | 8.43   | 7.66  | 8.30   | 8.21  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.57    | 4.07   | 3.93  | 3.51  | 3.64   | 3.58  | 3.78  | 3.68  | 3.30   | 3.57  | 3.82   | 4.63  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.62    | 1.13   | 1.58  | 1.64  | 1.70   | 1.71  | 1.70  | 1.59  | 1.20   | 1.66  | 2.04   | 1.61  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.88    | 0.75   | 0.58  | 0.39  | 0.39   | 0.38  | 0.38  | 0.38  | 0.70   | 0.37  | 0.42   | 0.82  |
| H <sub>2</sub> O+              | 3.93    | 2.85   | 1.19  | 0.92  | 0.58   | 0.58  | 0.93  | 1.57  | 3.47   | 0.28  | 0.32   | 2.55  |
| H <sub>2</sub> O-              |         |        |       |       |        |       |       |       | 2.11   |       |        |       |
| CO <sub>2</sub>                | 0.25    |        | 0.15  | 0.17  | 0.10   | 0.18  |       |       |        | 0.16  |        |       |
| Σ                              | 99.77   | 100.19 | 99.52 | 99.51 | 100.76 | 99.96 | 99.66 | 98.40 | 100.33 | 99.76 | 100.23 | 98.92 |
| Q                              |         |        |       | 3.30  | 2.64   | 2.04  | 1.50  | 3.06  |        |       |        |       |
| Or                             | 9.46    | 6.68   | 9.46  | 10.02 | 10.02  | 10.02 | 10.02 | 9.46  | 7.24   | 10.02 | 12.25  | 9.46  |
| Ab                             | 24.52   | 31.27  | 33.56 | 29.89 | 30.94  | 30.42 | 31.99 | 31.47 | 28.32  | 30.42 | 31.99  | 28.45 |
| An                             | 16.97   | 19.20  | 19.47 | 21.70 | 21.70  | 20.87 | 21.42 | 22.26 | 23.37  | 21.14 | 19.20  | 14.19 |
| Nc                             | 3.20    | 1.81   |       |       |        |       |       |       |        |       |        | 6.18  |
| Di {                           | Wo      | 8.48   | 8.75  | 7.05  | 5.23   | 5.58  | 6.39  | 5.81  | 5.58   | 5.85  | 5.69   | 8.02  |
|                                | En      | 6.04   | 5.85  | 4.68  | 3.20   | 3.45  | 4.13  | 3.93  | 3.68   | 3.88  | 3.68   | 5.57  |
|                                | Fs      | 1.69   | 2.26  | 1.85  | 1.74   | 1.79  | 1.83  | 1.43  | 1.50   | 1.54  | 1.62   | 1.78  |
| Hy {                           | En      |        |       | 1.62  | 8.95   | 8.49  | 9.23  | 8.72  | 7.36   | 9.02  | 10.52  | 2.99  |
|                                | Fs      |        |       | 0.64  | 4.86   | 4.41  | 4.10  | 3.18  | 2.99   | 3.58  | 4.64   | 0.96  |
| Ol {                           | Fo      | 9.98   | 5.96  | 6.13  |        |       |       |       |        | 0.04  | 1.37   | 4.41  |
|                                | Fa      | 3.08   | 2.54  | 2.66  |        |       |       |       |        | 0.02  | 0.67   | 1.55  |
| Mt                             | 5.79    | 6.25   | 5.79  | 5.33  | 5.56   | 5.59  | 6.25  | 6.02  | 6.02   | 5.33  | 6.02   | 6.95  |
| Ilm                            | 4.55    | 4.25   | 4.40  | 3.64  | 3.79   | 3.79  | 3.64  | 3.79  | 5.31   | 3.49  | 3.79   | 4.70  |
| Ap                             | 2.02    | 1.68   | 1.34  | 1.01  | 1.01   | 1.01  | 1.01  | 1.01  | 1.68   | 1.01  | 1.01   | 2.02  |

续表1-1

| 地 点                            | 句 容 赤 山 |       |       |       |       |       |       |       | 金 坛 方 山 | 瓜 埠 山   | 釜 山   |       |
|--------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|
| 岩 石 类 型                        | 夏 威 夷 岩 |       |       |       |       |       |       |       | 辉绿岩     | 夏 威 夷 岩 |       | 夏威夷岩  |
| 顺 序 号                          | 39      | 40    | 41    | 42    | 43    | 44    | 45    | 46    | 47      | 48      | 49    | 50    |
| SiO <sub>2</sub>               | 49.72   | 46.56 | 51.82 | 51.76 | 47.70 | 50.84 | 50.74 | 51.74 | 48.00   | 48.73   | 47.51 | 44.36 |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.90    | 2.10  | 1.89  | 1.96  | 2.15  | 1.91  | 1.95  | 1.97  | 2.23    | 1.95    | 2.23  | 2.24  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.04   | 14.99 | 15.20 | 15.64 | 15.03 | 15.52 | 16.06 | 15.43 | 14.88   | 15.00   | 14.93 | 14.26 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |         | 0.025 |       |       | 0.024 | 0.024 | 0.024 |       | 0.038   | 0.037   |       | 0.01  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.17    | 2.47  | 6.39  | 7.07  | 7.77  | 6.56  | 8.90  | 6.58  | 6.28    | 4.52    | 2.79  | 3.21  |
| FeO                            | 6.67    | 8.02  | 4.11  | 3.67  | 3.61  | 4.16  | 2.13  | 3.94  | 4.65    | 6.01    | 7.48  | 7.37  |
| MnO                            | 0.17    | 0.144 | 0.15  | 0.17  | 0.146 | 0.145 | 0.123 | 0.14  | 0.126   | 0.144   | 0.16  | 0.19  |
| NiO                            |         | 0.031 |       |       | 0.029 | 0.024 | 0.011 |       | 0.034   | 0.039   |       |       |
| MgO                            | 7.13    | 8.53  | 5.57  | 4.59  | 6.97  | 5.22  | 4.42  | 5.32  | 7.48    | 7.63    | 8.55  | 9.57  |
| CaO                            | 8.78    | 8.49  | 8.37  | 8.06  | 8.50  | 8.47  | 8.17  | 8.03  | 8.47    | 9.00    | 7.96  | 9.76  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.25    | 3.75  | 3.62  | 3.61  | 4.10  | 3.81  | 3.80  | 3.55  | 4.53    | 3.78    | 3.32  | 4.80  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.60    | 1.25  | 1.65  | 1.69  | 1.29  | 1.64  | 1.59  | 1.70  | 1.30    | 2.12    | 2.26  | 1.54  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.43    | 0.46  | 0.42  | 0.43  | 0.49  | 0.34  | 0.40  | 0.41  | 0.54    | 0.48    | 0.57  | 1.01  |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0.61    | 3.04  | 0.57  | 0.74  | 1.77  | 0.70  | 1.17  | 0.93  | 1.19    | 0.80    | 1.43  | 1.33  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  |         |       |       |       |       |       |       |       |         |         |       |       |
| CO <sub>2</sub>                | 0.13    |       | 0.12  | 0.09  |       |       |       | 0.15  |         | 0.06    | 0.36  | 0.17  |
| Σ                              | 99.60   | 99.86 | 99.98 | 99.48 | 99.58 | 99.36 | 99.49 | 99.89 | 99.75   | 100.30  | 99.55 | 99.82 |
| Q                              |         |       | 1.26  | 3.12  |       |       | 0.78  | 2.16  |         |         |       |       |
| Or                             | 9.46    | 7.24  | 10.02 | 10.02 | 7.79  | 10.02 | 9.46  | 10.02 | 7.79    | 12.25   | 13.36 | 8.79  |
| Ab                             | 27.80   | 24.12 | 30.94 | 30.94 | 29.76 | 32.52 | 32.52 | 30.42 | 29.43   | 24.45   | 24.78 | 12.98 |
| An                             | 21.98   | 20.31 | 20.31 | 21.70 | 18.92 | 20.31 | 21.98 | 21.14 | 16.41   | 17.81   | 19.20 | 12.80 |
| Ne                             |         | 4.26  |       |       | 2.63  |       |       |       | 4.79    | 4.08    | 1.92  | 15.13 |
| Di {                           | Wo      | 7.67  | 8.02  | 7.43  | 6.39  | 8.60  | 8.40  | 6.74  | 6.39    | 9.14    | 9.87  | 11.69 |
|                                | En      | 5.31  | 5.19  | 5.10  | 4.18  | 6.04  | 5.69  | 4.39  | 4.37    | 6.65    | 7.14  | 8.20  |
|                                | Fs      | 1.73  | 2.28  | 1.74  | 1.77  | 1.82  | 2.07  | 1.89  | 1.51    | 1.64    | 1.84  | 2.50  |
| Hy {                           | En      | 7.24  |       | 8.85  | 7.37  |       | 5.42  | 6.66  | 8.98    |         |       |       |
|                                | Fs      | 2.35  |       | 3.01  | 3.12  |       | 1.97  | 2.86  | 3.11    |         |       |       |
| Ol {                           | Fo      | 3.72  | 11.28 |       |       | 8.01  | 1.36  |       | 8.43    | 8.29    | 12.08 | 10.92 |
|                                | Fa      | 1.33  | 5.47  |       |       | 2.67  | 0.55  |       | 2.30    | 2.35    | 4.85  | 3.67  |
| Mt                             | 6.02    | 3.47  | 6.02  | 6.02  | 6.25  | 6.25  | 6.25  | 6.02  | 6.25    | 6.02    | 4.17  | 4.63  |
| Ilm                            | 3.64    | 3.95  | 3.64  | 3.79  | 4.10  | 3.64  | 3.79  | 3.79  | 4.25    | 3.64    | 4.25  | 4.25  |
| Ap                             | 1.01    | 1.01  | 1.01  | 1.01  | 1.01  | 0.67  | 1.01  | 1.01  | 1.34    | 1.01    | 1.34  | 2.35  |

续表1-1

| 地 点                            |       | 嘉 山 女 山 |       |             | 衢 州   |        |       | 嵊 县       |             | 新 昌                 |           |      |
|--------------------------------|-------|---------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----------|-------------|---------------------|-----------|------|
| 岩 石 类 型                        | 霞石岩   | 岩 玄 岩   |       | 碱性橄<br>榄玄武岩 | 霞石岩   | 岩玄岩    | 夏威夷岩  | 拉班<br>玄武岩 | 碱性橄<br>榄玄武岩 | Hy标准<br>分子碱性<br>玄武岩 | 粗面<br>玄武岩 |      |
| 顺 序 号                          | 51    | 52      | 53    | 54          | 55    | 56     | 57    | 58        | 59          | 60                  | 61        |      |
| SiO <sub>2</sub>               | 39.6  | 42.27   | 42.50 | 42.54       | 40.54 | 43.47  | 49.83 | 49.57     | 44.32       | 46.44               | 47.24     |      |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.36  | 2.14    | 2.28  | 2.21        | 2.81  | 2.51   | 2.45  | 2.38      | 2.57        | 1.31                | 2.68      |      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.91 | 13.61   | 14.97 | 14.45       | 9.58  | 13.11  | 12.81 | 13.99     | 12.90       | 13.14               | 14.37     |      |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.032 | 0.02    | 0.03  | 0.03        | 0.047 | 0.003  | 0.03  | 0.02      | 0.002       | 0.057               | 0.02      |      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.74  | 11.91   | 10.94 | 5.67        | 5.11  | 6.33   | 6.26  | 3.48      | 3.72        | 5.19                | 6.07      |      |
| FeO                            | 5.50  | 1.29    | 1.08  | 6.49        | 8.14  | 6.61   | 5.33  | 7.60      | 8.74        | 7.60                | 6.58      |      |
| MnO                            | 0.18  | 0.12    | 0.17  | 0.17        | 0.211 | 0.14   | 0.18  | 0.14      | 0.17        | 0.19                | 0.18      |      |
| NiO                            | 0.032 | 0.03    | 0.03  | 0.04        | 0.037 | 0.02   | 0.05  | 0.02      | 0.01        | 0.015               | 0.01      |      |
| MgO                            | 9.74  | 8.47    | 8.55  | 8.59        | 13.54 | 9.85   | 7.44  | 7.52      | 9.31        | 8.95                | 3.60      |      |
| CaO                            | 10.56 | 8.15    | 7.61  | 7.91        | 10.39 | 10.03  | 8.45  | 9.04      | 9.59        | 9.47                | 6.18      |      |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.56  | 4.43    | 3.78  | 3.33        | 4.32  | 3.45   | 3.50  | 2.86      | 2.51        | 2.45                | 3.86      |      |
| K <sub>2</sub> O               | 1.68  | 0.40    | 1.14  | 1.00        | 1.89  | 0.81   | 1.53  | 0.76      | 1.41        | 1.34                | 3.71      |      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.50  | 1.37    | 1.33  | 1.28        | 1.416 | 0.83   | 1.16  | 0.49      | 0.56        | 0.30                | 1.23      |      |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 3.24  | 4.07    | 2.58  | 3.25        | 1.17  | 1.97   | 0.48  | 1.00      | 2.37        | 2.06                | 3.01      |      |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  |       | 1.52    | 1.61  | 2.41        | 0.39  | 0.93   | 0.29  | 0.71      | 1.42        | 1.20                | 1.41      |      |
| CO <sub>2</sub>                | 0.01  |         | 0.09  | 0.15        |       |        |       |           |             |                     |           |      |
| Σ                              | 99.83 | 99.80   | 98.69 | 99.52       | 99.59 | 100.06 | 99.79 | 99.58     | 99.60       | 99.72               | 100.15    |      |
| Q                              |       |         |       |             | 3.06  |        |       | 1.62      |             |                     |           |      |
| Or                             | 9.91  | 2.23    | 7.24  | 6.68        | 7.79  | 5.01   | 8.91  | 4.45      | 8.91        | 8.35                | 22.82     |      |
| Ab                             | 1.87  | 28.05   | 24.58 | 26.08       |       | 17.83  | 29.80 | 24.65     | 19.40       | 21.50               | 28.84     |      |
| An                             | 7.34  | 17.52   | 21.70 | 23.09       | 1.39  | 18.64  | 15.02 | 23.65     | 20.59       | 21.70               | 11.68     |      |
| Ne                             | 19.85 | 6.39    | 5.15  | 2.06        | 20.18 | 6.54   |       |           | 1.42        |                     | 2.84      |      |
| Di                             | Wo    | 14.42   | 6.85  | 4.18        | 4.41  | 17.54  | 11.38 | 8.36      | 7.78        | 10.69               | 10.51     | 4.99 |
|                                | En    | 9.91    | 4.42  | 2.81        | 2.91  | 12.75  | 7.73  | 5.62      | 5.12        | 7.13                | 6.22      | 2.61 |
|                                | Fs    | 3.36    | 1.98  | 1.06        | 1.19  | 3.17   | 2.77  | 2.11      | 2.11        | 2.77                | 3.83      | 2.24 |
| Hy                             | En    |         |       |             |       |        | 10.54 | 14.05     |             |                     | 0.70      |      |
|                                | Fs    |         |       |             |       |        | 3.83  | 5.54      |             |                     | 0.53      |      |
| Ol                             | Fo    | 10.07   | 12.73 | 13.86       | 14.00 | 15.19  | 12.38 | 1.83      |             | 11.96               | 11.40     | 4.78 |
|                                | Fa    | 3.76    | 6.01  | 5.71        | 6.21  | 4.28   | 4.89  | 0.63      |             | 5.30                | 7.74      | 4.69 |
| Mt                             |       | 7.45    | 6.02  | 6.02        | 6.02  | 6.48   | 6.02  | 5.79      | 5.09        | 5.56                | 4.17      | 6.25 |
| Ilm                            |       | 4.49    | 4.40  | 4.55        | 4.25  | 5.46   | 4.86  | 4.70      | 4.55        | 5.16                | 2.58      | 5.31 |
| Ap                             |       | 3.84    | 3.70  | 3.36        | 3.36  | 3.10   | 2.17  | 2.48      | 1.24        | 1.24                | 0.62      | 2.79 |

注：六合方山部分资料引自方邱森（1979）和周新民（1980），24、25为浅色粗晶辉绿岩，括号内代表调整后的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和FeO含量，调整方法按Le Maitre（1976）。

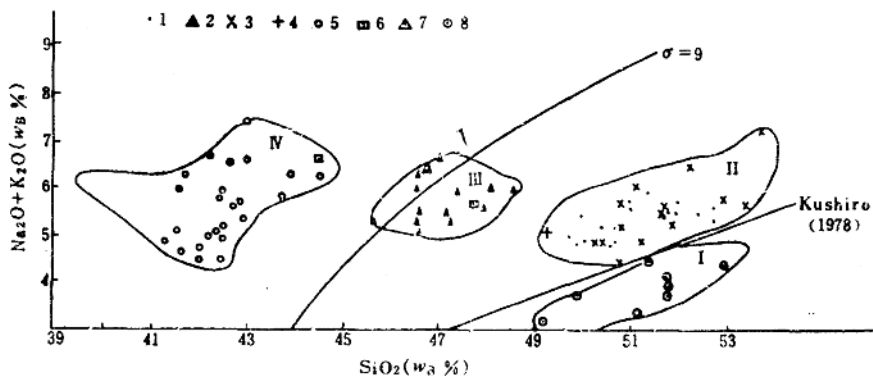


图1-2 嘉山-六合火山群新生代玄武岩 ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )- $\text{SiO}_2$ 图解

1—上方山玄武岩; 2—下方山玄武岩; 3—辉绿岩; 4—玄武岩脉;  
5—女山玄武岩; 6—釜山玄武岩; 7—岩墙; 8—早第三纪玄武岩

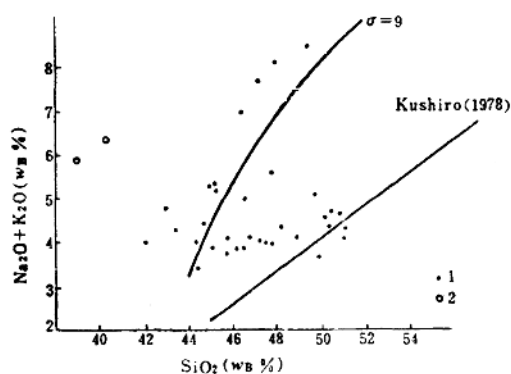


图1-3 嵯县-新昌、衢州新生代火山岩

( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )- $\text{SiO}_2$ 图解

1—嵯县、新昌; 2—衢州

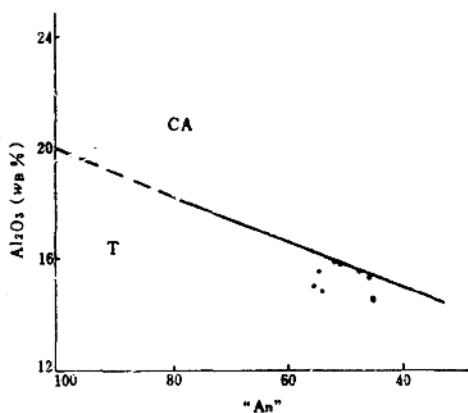


图1-4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -“An”图解

“An” =  $100\text{An}/(\text{An}+\text{Ab}+\sigma/3\text{Ne})$ ,

CA——钙碱性系列, T——拉斑系列

橄玄武岩、Hy标准分子碱性玄武岩、夏威夷岩、粗面玄武岩、橄榄拉斑玄武岩和石英拉斑玄武岩八种类型。

#### ①橄榄霞石岩

主要出露在安徽女山、釜山和浙江衢州。

斑状结构、基质为显微短柱状或隐斑结构, 斑晶组合为橄榄石和钛普通辉石, 微晶组合为普通辉石、碱性长石、霞石和磁铁矿, 主要以不含斜长石而含霞石为特征。

#### ②碧玄岩

主要出露在女山、釜山、大蜀山、嵯县城隍山、浦桥等地, 为第四纪火山活动的产物。具气孔构造和致密块状构造两种。在该类型玄武岩中普遍含有石榴石橄榄岩和尖晶石橄榄岩包体(如女山、釜山等)。

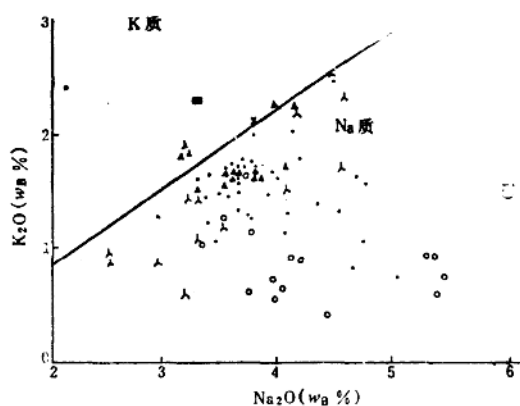


图1-5 下扬子地区新生代玄武岩 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图解

▲—资料引自鄂莫岚(1937), 其他图例同图1-2,  
划分界限根据Middlemost(1975)

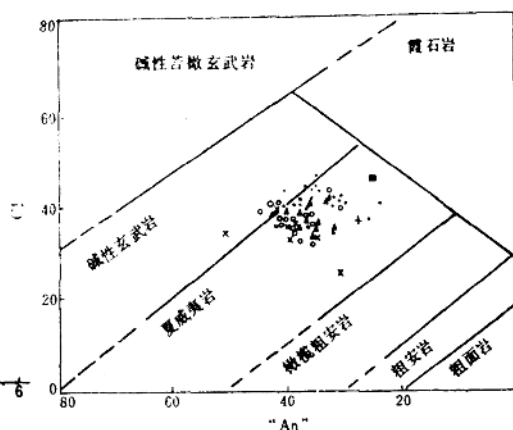


图1-6  $\text{CI}-\text{“An”}$  图解

$\text{CI} = \text{Ol} + \text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Mt} + \text{Il} + \text{Hm}$ ,

$\text{“An”} = 100\text{An}/(\text{An} + \text{Ab} + 5/3\text{Ne})$ , 图例同图1-2

岩石为显微斑状结构或无斑结构。斑晶主要为橄榄石, 含量11%—22%左右。其次为钛普通辉石, 含量为4%—15%左右, 砂钟构造和环带构造比较发育, 尚可见到双晶, 其结合面为(100)。基质为间隐结构, 微晶主要有钛普通辉石, 斜长石( $\text{An}_{56}-\text{An}_{69}$ )、碱性长石、霞石和钛磁铁矿等, 此外还有少量钠质玻璃和沸石。

### ③碱性橄榄玄武岩、Hy标准分子碱性玄武岩

主要出露在六合方山、塔山、瓜埠山、江宁方山、新昌塞庄、孟家塘、嵯县浦桥。有致密块状和气孔状两种类型, 并以前者为主。玄武岩中含有尖晶石二辉橄榄岩包体和普通辉石巨晶。柱状节理发育, 柱子呈陡立或近水平。

玄武岩呈斑状结构, 基质具有间粒结构。斑晶含量8%, 主要为橄榄石, 电子探针分析表明, 橄榄石斑晶在成分上存在隐环带, 如六合方山下方山玄武岩中的橄榄石斑晶核部成分为 $\text{Fo}_{83}$ 、而边部为 $\text{Fo}_{70}$ 。岩石中尚存在少量二辉橄榄岩包体的解体矿物橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、尖晶石捕虏晶。

基质斜长石条状微晶呈杂乱分布, 空隙间被橄榄石、单斜辉石和磁铁矿颗粒充填。电子探针分析表明, 斜长石为 $\text{An}_{40}-\text{An}_{56}$ , 单斜辉石成分为次透辉石—普通辉石( $\text{Wo}=43\%-45\%$ )。斑晶和基质矿物成分上的变化反映了熔浆在结晶过程中组成的演化。

### ④夏威夷岩

主要出露在江苏江宁、六合上方山玄武岩和火山活动晚期的玄武岩脉中以及嵯县岭头山。玄武岩气孔构造和柱状节理较发育。玄武岩脉呈钢灰色, 致密块状, 其中含有较少的橄榄岩包体。

岩石具斑状结构, 基质为间粒结构, 橄榄石斑晶一般10%左右, 成分为 $\text{Fo}_{81}$ 左右, 已部分或全部伊丁石化。部分标本也含普通辉石斑晶( $<2\%$ ), 具环带和砂钟构造, 其成分相当于(含钛)普通辉石( $\text{Wo}=43\%-36\%$ )。

基质矿物成分的电子探针分析表明, 斜长石为 $\text{An}_{55}-\text{An}_{50}$ , 橄榄石为 $\text{Fo}_{59}-\text{Fo}_{53}$ 。普

通辉石为Wo42.5, 碱性长石的Or:Ab:An=30:58:12, 为钙质歪长石。

上方山玄武岩和后期玄武岩脉实际矿物橄榄石含量>5%, 且具有斑晶和基质两个世代, 橄榄石斑晶未见辉石反应边, 只出现富钙的单斜辉石, 基质斜长石成分为拉长石—中长石, 具有碱性玄武岩的矿物组合特征, 这与化学分类定为碱性系列玄武岩是一致的。但在前人的工作中, 均因CIPW标准矿物计算中出现Hy和Q标准分子而将此类玄武岩分别定名为橄榄拉斑玄武岩和石英拉斑玄武岩, 这就造成系列和岩石类型不符, 也与矿物学特征不符。因此, 只根据CIPW标准矿物中出现Hy就定名为拉斑玄武岩是不合适的。

#### ⑤辉绿岩

主要见于六合方山和江宁方山。有暗色辉绿岩和浅色辉绿岩两种类型。暗色辉绿岩与下玄武岩呈侵入接触关系, 呈岩株状产出, 边部可见到一些已风化蚀变的橄榄岩包体。岩石呈灰黑色, 致密块状构造, 柱状节理十分发育。浅色辉绿岩与上玄武岩呈侵入接触关系, 岩体由边部往内部矿物粒度逐渐增大, 沿节理方向发育有脉状、网状、透镜状粗粒至伟晶状变种。粗粒变种可能是岩浆演化晚期富含挥发份的熔体结晶而成的。浅色辉绿岩呈灰白色、粗粒变种呈浅红褐色。

岩石均为辉绿结构, 主要矿物成分均为橄榄石、普通辉石、斜长石。

暗色辉绿岩: 橄榄石呈自形—半自形粒状或聚粒状, 含量为13%—15%, 成分为Fo63, 边部具伊丁石化。普通辉石呈半自形—它形粒柱状, 成分为Wo45.3。斜长石呈半自形板条状, 聚片双晶发育, 成分为An46—An44。次要矿物有碱性长石, 它形宽板状, 成分为Or:Ab:An=41.2:55.6:3.2, 属钠质透长石。此外, 还有条状磁铁矿分散在岩石中, 针状磷灰石包裹在碱性长石中。

浅色细中粒辉绿岩: 橄榄石含量15%左右, 成分为Fo56。普通辉石含量为14%—16%, 成分为Wo41—Wo42。斜长石含量为65%—67%, 成分为An54—An56。副矿物含量为3%—4%。各矿物形态特征与暗色辉绿岩相同。

浅色粗粒辉绿岩: 橄榄石含量0—5%, 已完全蚀变为伊丁石。普通辉石含量25%—30%, 成分为Wo42, 斜长石为半自形长板状, 卡式双晶发育, 成分为An58。磁铁矿含量5%左右, 呈长条状骸晶分散在岩石中。碱性长石含量较少。

由上述可见, 两种辉绿岩与玄武岩有十分相似的矿物组合特征, 是碱性玄武岩系列的超浅成产物。

#### ⑥橄榄拉斑玄武岩

主要出露于苏北盆地和照明山等地。

岩石为块状、气孔状构造, 斑状结构, 基质为间粒结构, 交织结构。斑晶为橄榄石、单斜辉石和斜长石。基质为橄榄石、单斜辉石、斜长石、钛铁矿、玻璃等。

#### ⑦石英拉斑玄武岩

主要出露于苏北盆地、照明山、嵯县岭头山、浦桥等地。

块状、气孔状构造, 斑状结构, 基质为间粒结构, 间粒—间隐结构, 局部可见交织结构。斑晶有斜长石(An50—An60)、单斜辉石、斜方辉石和少量橄榄石(<5%)。基质为斜长石、单斜辉石、斜方辉石、磁铁矿、玻璃等。

#### ⑧粗面玄武岩

主要出露于新昌、嵯县。块状构造, 斑状—显微斑状结构, 基质具间隐、间粒—间隐结构, 粗面结构。斑晶为橄榄石、单斜辉石、透长石。基质主要为单斜辉石、橄榄石、斜长