

沈阳地质矿产研究所 编

# 中国东部 金矿地质研究文集

## 3 浙东南地区

地质出版社



# 中国东部金矿地质研究文集

## 3 浙东南地区

沈阳地质矿产研究所 编

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

## 内 容 提 要

“中国东部金矿地质研究”科研成果分地质专报和文集两个系列陆续出版。文集包括4辑：第1辑为云开地区；第2辑为华北地台北缘地区；第3辑为浙东南地区；第4辑为秦岭东部地区。

本辑为第3辑，由6篇文章组成。文中论述了浙东南地区绍兴—诸暨一带双溪坞群金的成矿作用；绍兴—江山对接带韧性剪切构造特征及其与金矿的成矿关系；绍兴—龙泉一带火山岩系的含金性、区域地球物理和地球化学特征及其与金矿的关系。

本书可供从事金矿地质工作的生产、科研及教学人员参考。

## 中国东部金矿地质研究文集

### 3 浙东南地区

沈阳地质矿产研究所 编

\*

责任编辑：杨广华

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：10.375 字数：246000

1993年9月北京第一版·1993年9月北京第一次印刷

印数：1—500册 定价：7.35元

ISBN 7-116-01322-9/P·1094

# 目 录

## 浙江绍兴—诸暨一带双溪坞群金的成矿作用研究

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| .....郑人杰 周乐尧 韩梦合 吴明涵 赵炎明 俞文娟  | (1)  |
| 序言.....                       | (1)  |
| 一、石角超镁铁质岩和双溪坞群岩石特征及其构造意义..... | (2)  |
| 二、双溪坞群的变质作用.....              | (8)  |
| 三、双溪坞群的含金性.....               | (10) |
| 四、双溪坞群中的金矿床.....              | (13) |
| 五、双溪坞群金成矿的主要控制因素.....         | (21) |
| 六、结语.....                     | (27) |

## 绍兴—江山对接带韧性剪切构造特征及其与金矿的成矿关系

|                           |      |
|---------------------------|------|
| .....邱郁双 水 涛 朱 平          | (30) |
| 一、概述.....                 | (30) |
| 二、绍兴—江山对接带的岩石组成.....      | (30) |
| 三、韧性剪切带小构造特征.....         | (32) |
| 四、韧性剪切带显微构造特征及应变参数测定..... | (33) |
| 五、矿田构造特征.....             | (35) |
| 六、岩组特征及成矿的构造学标志.....      | (37) |
| 七、韧性剪切带的构造演化史.....        | (40) |
| 八、结语.....                 | (41) |

## 浙江遂昌—龙泉地区金矿床特征及成因 .....

|                  |      |
|------------------|------|
| 王华田 袁旭音          | (44) |
| 一、金矿成矿地质背景.....  | (44) |
| 二、金矿床类型及其特征..... | (49) |
| 三、金矿床的成因.....    | (63) |

## 浙江绍兴—龙泉一带典型火山岩系的含金性及其控矿特征.....

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 俞云文 孙承铨         | (75)  |
| 一、火山岩系地质概况..... | (75)  |
| 二、火山构造特征.....   | (86)  |
| 三、火山岩的地球化学..... | (91)  |
| 四、火山成矿作用.....   | (101) |
| 五、结论.....       | (112) |

## 浙江绍兴—龙泉一带火山岩区区域地球化学特征及其与金矿关系的研究

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| .....伍宗华 金仰芬 尹冰川 黄宏库 张利芬 刘平山 | (115) |
| 前言.....                      | (115) |
| 一、区域成矿背景.....                | (116) |
| 二、金矿床的地球化学特征.....            | (119) |

|                                          |          |
|------------------------------------------|----------|
| 三、区域化探异常的筛选与评价.....                      | (127)    |
| 四、火山岩区金矿化探的合理程序.....                     | (138)    |
| <b>浙江绍兴—龙泉一带火山岩区区域地球物理、地球化学特征与金矿关系之二</b> |          |
| .....                                    | 刘平山(141) |
| 一、区域地质概况.....                            | (141)    |
| 二、已知金矿区区域地球物理场特征模式.....                  | (141)    |
| 三、区域地球物理场和金异常总貌.....                     | (149)    |
| 四、基底构造格局和金的迁移富集.....                     | (154)    |
| 五、古板块与内生金矿.....                          | (159)    |

# 浙江绍兴—诸暨一带双溪坞群金的 成矿作用研究

郑人来 周乐尧 韩梦合  
吴明涵 赵炎明 俞文娟

(浙江省地质矿产研究所)

**内容提要** 绍兴-诸暨金矿带处于扬子板块和华夏板块的缝合部位,带中分布有特殊岩石组合——石角超基性岩和双溪坞群海相中基性火山岩。前者是洋底裂谷带产物,后者是富钠的钙碱性-弱碱性玄武岩系列的岛弧火山岩。这套组合的岩石序列、组合类型(硅质层不甚发育)和结构构造皆可与典型蛇绿岩套相类比。双溪坞群是一富金建造,岩石中金服从对数正态分布,丰度为 $6.79 \times 10^{-6}$ ,该带金矿床都赋存在双溪坞群NE向(个别NW向)韧性剪切带中,其成矿温度为 $176-334^{\circ}\text{C}$ ,成矿流体为低盐度、低密度富 $\text{CO}_2$ 的 $\text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{H}_2\text{O}$ 型变质流体,成矿物质(金、硫)主要取自赋矿围岩——双溪坞群。成矿作用研究表明,金的成矿作用与双溪坞群变质作用(区域变质、混合岩化、韧性剪切-动力变质)同步进行(晋宁—加里东期),区域变质作用和韧性剪切-动力变质作用是双溪坞群金成矿的主要控制因素。

## 序 言

绍兴-诸暨金矿带是绍兴-江山深断裂带的北段,该构造带在浙江境内自绍兴追循浙赣线经诸暨至江山而抵江西,约在广丰附近分成两支,其一继浙赣线之走向顺沿上饶-萍乡盆地而行,其后折向湘南;其二入福建追踪武夷山系之岩浆岩带,尔后顺增城基底隆起之北缘西向云开,绕转六万大山西侧与灵山断裂带相接。该构造带在浙江境内出露长约280 km,最宽处20—30 km,最窄处仅数公里,大多为后期地质作用所破坏,仅在绍兴—诸暨一带残留部分构造带特征岩石双溪坞群和诸暨石角超镁铁质岩。

绍兴-诸暨成矿带总体呈北东向带状分布,带内主要出露前寒武系双溪坞群海相火山岩、前震旦系陈蔡群变质岩、侏罗系酸性火山岩和白垩系酸性火山岩夹沉积岩,其中双溪坞群经区域变质作用,普遍遭受绿片岩化,局部达角闪岩相。在区域变质作用的同时,双溪坞群还遭受了强烈韧性剪切作用,岩石被挤压、破碎,形成带状千糜岩、糜棱岩和糜棱岩化岩石,组成以NE向为主的糜棱岩带,偶见小规模的东西向糜棱岩带。糜棱岩带宽者可达1 km,窄者仅几十厘米。因此,绍兴-诸暨构造带实为一系列大小不等的韧性剪切带(糜棱岩带)组成<sup>[1]</sup>。目前发现的中嵛、璜山等一批中小型矿床和矿(化)点全部产在双溪坞群韧性剪切带中。

# 一、石角超镁铁质岩和双溪坞群 岩石特征及其构造意义

## (一) 石角超镁铁质岩

超镁铁质岩分布于绍兴-诸暨构造带内石角一带, 在空间上呈透镜状断块离散分布于双溪坞群混合石英闪长岩中或底部, 单体最大延长2000m, 细小者仅数十立方厘米。岩石由普通角闪石、透辉石及少量磁铁矿、阳起石、黑云母、磷灰石组成; 以块状构造、花岗变晶结构为主, 局部为条带状构造, 其中辉石角闪岩中出现球状构造, 球体直径10—15cm, 皆具细晶质角闪石与辉石组成的多重环带, 并以粗晶质角闪石为核心, 球状构造的成因目前尚不明白。

超镁铁质岩内部和顶端均有条带状或成“韵律”变化的角闪石与辉石岩层, 显示分异堆晶构造的形象(水涛, 1988)。与超镁铁质岩在空间上相伴的有众多的无根辉绿、辉长岩墙或岩床, 产状扭曲, 蚀变显著。

与中国同类岩石平均成分相比, 石角超镁铁质岩的化学成分(表1)主要有以下特点:

1. 富铁和钙, 石角超镁铁质岩的平均含量为:  $\Sigma\text{Fe}=19.31\%$ ,  $\text{CaO}$  为  $12.81\%$ , 而中国同类岩石的平均值分别为  $14.4\%$  和  $6.06\%$ 。
2.  $\text{MgO}$  明显亏损,  $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$  平均为  $0.48$ ,  $\text{MgO}$  平均仅为  $12.24\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  略显偏高。
3.  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$  为  $0.81$ , 高于中国同类岩石的平均值 ( $0.75$ ), 显示富钠的特征。

超镁铁质岩的稀土丰度低(表2),  $\Sigma\text{REE}=37.21 \times 10^{-6}$ , 球粒陨石标准化配分曲线型式(图1)呈平坦型, 并普遍贫镧系元素,  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{e.f.}}=0.485-0.810$ , 和洋中脊幔源分异岩浆的富集系数十分接近<sup>(2)</sup>, 在  $\text{Palamov}$  的  $\text{La}/\text{Yb}-\Sigma\text{REE}$  相关图解中<sup>(3)</sup>, 全部

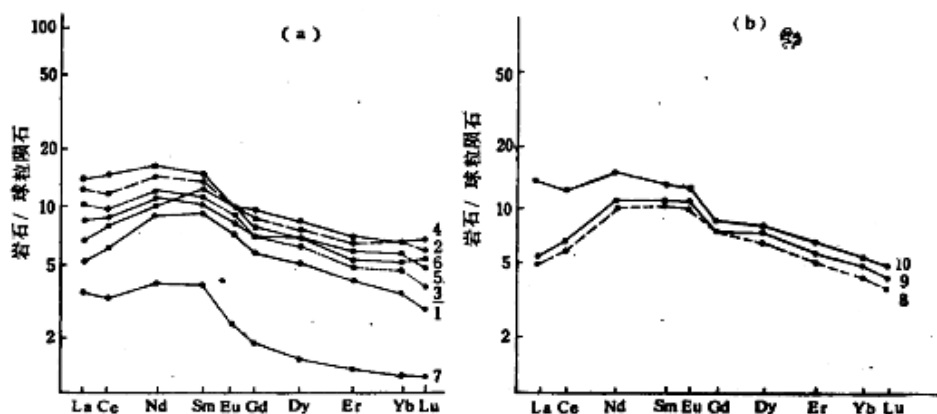


图1 浙江诸暨石角超镁铁质岩按球粒陨石标准化的稀土元素配分模式图  
(据水涛, 1988)

Fig. 1 The chondrite normalized REE distribution patterns of Shijiao ultramafic rocks

(a) 块状熔岩样品, (b) 球状体及胶结物样品, 1—10 为样品序号, 其中7为辉石微斑岩

表 1 石角超基性岩的化学成分 (%)  
Table 1 Chemical compositions of Shijiao ultramafic rocks

| 样品号    | 岩石名称    | SiO <sub>2</sub> | FeO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O | 烧失量  | 总量     | Na <sup>+</sup><br>Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> | Fe <sup>2+</sup><br>Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> | MgO<br>MgO+FeO |
|--------|---------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------|-------|------------------|-------------------|------|-------------------------------|------------------|------|--------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|
| 石-1    | 角闪岩     | 39.45            | 17.75 | 7.31                           | 0.38             | 13.48 | 13.25 | 0.20             | 0.64              | 0.15 | 0.07                          | 0.45             | 1.29 | 99.53  | 0.53                                               | 0.77                                                   | 0.72           |
| 石-2    | 含长辉石角闪岩 | 46.11            | 9.93  | 11.06                          | 0.80             | 10.50 | 12.98 | 0.14             | 0.51              | 0.19 | 0.05                          | 0.57             | 2.75 | 100.00 | 0.58                                               | 0.73                                                   | 0.74           |
| 石-5    | 角闪辉石岩   | 38.24            | 13.67 | 5.48                           | 2.12             | 14.31 | 11.50 | 0.15             | 0.58              | 0.26 | 0.12                          | 0.39             | 1.42 | 99.31  | 0.35                                               | 0.77                                                   | 0.56           |
| 石-6    | 角闪岩     | 43.85            | 10.09 | 5.46                           | 1.59             | 13.64 | 11.77 | 0.25             | 0.65              | 0.26 | 0.08                          | 0.47             | 3.05 | 99.57  | 0.83                                               | 0.75                                                   | 0.5            |
| 石-7    | 辉石角闪岩   | 38.47            | 17.60 | 10.01                          | 1.50             | 12.13 | 10.97 | 0.29             | 0.53              | 0.15 | 0.08                          | 0.40             | 2.36 | 99.59  | 0.73                                               | 0.77                                                   | 0.6            |
| 石-9    | 角闪岩     | 39.31            | 16.38 | 10.88                          | 1.30             | 11.51 | 11.08 | 0.38             | 1.06              | 0.15 | 0.07                          | 0.43             | 2.54 | 99.86  | 0.80                                               | 0.76                                                   | 0.58           |
| 石-21   | 辉石斜长角闪岩 | 46.32            | 4.12  | 7.02                           | 1.15             | 18.07 | 13.36 | 0.18             | 0.82              | 0.23 | 0.05                          | 0.64             | 1.69 | 99.47  | 0.87                                               | 0.73                                                   | 0.65           |
| 石106-1 | 角闪岩     | 42.09            | 7.98  | 12.28                          | 1.14             | 8.82  | 13.01 | 0.74             | 0.39              | 0.22 | 0.05                          | 0.51             | 3.67 | 99.21  | 0.92                                               | 0.77                                                   | 0.85           |
| 平 均 值  |         | 41.73            | 12.51 | 8.75                           | 1.25             | 12.31 | 12.24 | 0.24             | 0.64              | 0.21 | 0.07                          | 0.42             | 2.35 | 99.59  | 0.81                                               | 0.76                                                   | 0.65           |
| 中国平均值  |         | 40.38            | 5.76  | 8.64                           | 6.21             | 1.15  | 6.06  | 25.53            | 0.34              | 0.68 | 0.20                          | 0.07             |      |        | 0.75                                               | 0.63                                                   | 0.75           |

注: 中国平均值引自袁彤、饶纪龙, 其它资料均采自水涛 (1988)

表 2 石角超基性岩稀土元素分析结果 (10<sup>-6</sup>)  
Table 2 Analytic results of REE of Shijiao ultramafic rocks

| 样品号   | 岩石名称    | La   | Ce    | Nd    | Sm   | Eu   | Gd   | Dy   | Er   | Yb   | Lu   | Y     | (Gd/Yb) <sub>N</sub> | (La/Sm) <sub>N</sub> | Eu <sup>+</sup><br>Eu <sup>+</sup> |
|-------|---------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 石-1   | 角闪岩     | 1.64 | 3.71  | 5.37  | 1.85 | 0.62 | 1.83 | 1.62 | 0.86 | 0.68 | 0.09 | 7.61  | 1.55                 | 0.55                 | 1.12                               |
| 石-2   | 含长辉石角闪岩 | 4.05 | 11.50 | 8.91  | 2.81 | 0.73 | 2.73 | 2.48 | 1.39 | 1.37 | 0.18 | 11.90 | 1.29                 | 0.90                 | 0.88                               |
| 石-5   | 角闪辉石岩   | 2.79 | 8.53  | 6.96  | 2.23 | 0.63 | 2.12 | 1.93 | 0.99 | 0.88 | 0.12 | 9.16  | 1.48                 | 0.78                 | 0.86                               |
| 石-6   | 角闪岩     | 4.67 | 13.99 | 10.30 | 3.14 | 0.73 | 2.93 | 2.70 | 1.49 | 1.44 | 0.20 | 13.69 | 1.25                 | 0.93                 | 0.80                               |
| 石-7   | 辉石角闪岩   | 2.24 | 7.81  | 7.65  | 2.54 | 0.75 | 2.43 | 2.30 | 1.20 | 1.08 | 0.15 | 11.10 | 1.41                 | 0.55                 | 0.99                               |
| 石-9   | 角闪岩     | 3.20 | 9.08  | 7.40  | 2.33 | 0.81 | 2.39 | 2.10 | 1.12 | 0.92 | 0.13 | 10.10 | 1.59                 | 0.86                 | 1.15                               |
| 石-20  | 辉石角闪岩   | 1.15 | 3.16  | 2.36  | 0.77 | 0.18 | 0.59 | 0.52 | 0.30 | 0.25 | 0.04 | 2.68  | 1.45                 | 0.93                 | 0.86                               |
| 球-A   | 角闪辉石岩   | 1.79 | 5.87  | 6.62  | 2.12 | 0.75 | 2.31 | 2.18 | 1.08 | 0.86 | 0.12 | 9.98  | 1.65                 | 0.58                 | 1.14                               |
| 球-B   | 角闪辉石岩   | 1.75 | 6.01  | 6.51  | 2.10 | 0.75 | 2.23 | 2.09 | 1.03 | 0.78 | 0.11 | 9.17  | 1.75                 | 0.52                 | 1.16                               |
| 球A-B  | 角闪岩     | 4.36 | 11.72 | 9.50  | 2.61 | 0.89 | 2.64 | 2.37 | 1.20 | 1.02 | 0.15 | 11.30 | 1.59                 | 1.04                 | 1.13                               |
| 平 均 值 |         | 2.76 | 8.33  | 7.16  | 2.25 | 0.68 | 2.23 | 2.03 | 1.06 | 0.92 | 0.13 | 9.66  | 1.51                 | 0.76                 | 1.02                               |

注: 资料来源于水涛 (1988)



样品均落在洋底裂谷带(图2)。据La/Sm相对La含量变异图,绝大部分辉石岩包括球状角闪辉石岩表现为线性正比关系,证明是由上地幔部分熔融所致,但几乎所有的角闪岩及辉橄岩La/Sm保持恒值(图3),这是分离结晶作用的重要标志。另外,在超镁铁质岩内

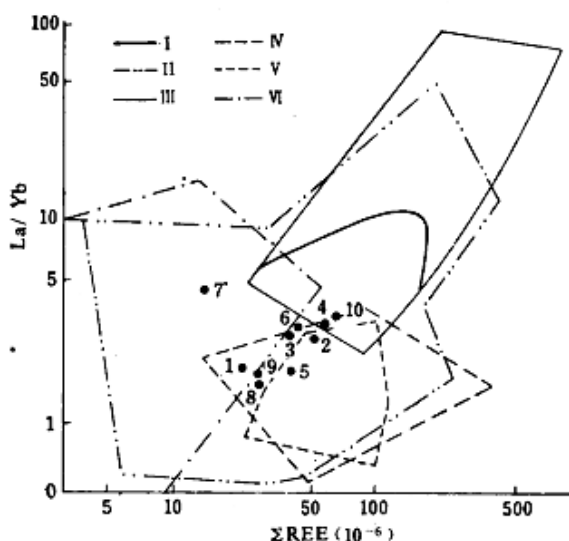


图2 浙江诸暨石角超镁铁质岩La/Yb-ΣREE相关图  
Fig. 2 Diagram showing the correlation between La/Yb and REE of Shijiao ultramafic rocks  
1—10为样品序号; I—大陆玄武岩区; II—大陆辉长岩区; III—大陆拉斑玄武岩区; IV—洋底和裂谷玄武岩区; V—岛弧和大陆造山带拉斑玄武岩区; VI—阿尔卑斯型和层状型超基性岩区

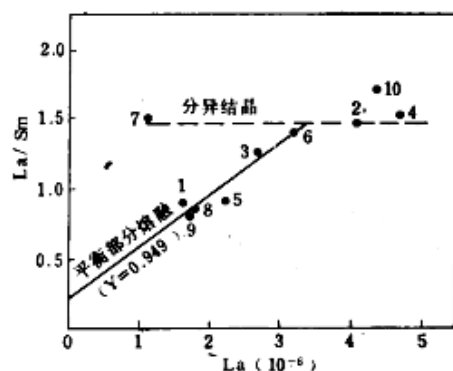


图3 石角超镁铁质岩La/Sm-La相关图  
Fig. 3 Diagram showing the correlation between La/Sm and La of Shijiao ultramafic rocks  
1—10为样品号

也发育有分异岩层(如斜长角闪岩、闪长岩等)。因此,石角超镁铁质岩可以与蛇绿岩套中常见的辉长岩分异堆晶杂岩相类比(水涛,1988),与超镁铁质岩相伴的众多的无根辉绿、辉长岩墙或岩床,其化学成分平均为(%):SiO<sub>2</sub> 45.25, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14.36, TiO<sub>2</sub> 2.91, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.33, CaO 7.27, MgO 4.52, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 2.47(水涛,1988)。

## (二) 双溪坞群

双溪坞群呈北东向狭长条带状分布于绍兴-诸暨构造带中,长66km,宽2—6 km,其南东与华夏板块的前震旦系陈蔡群变质岩和上侏罗统磨石山群呈断层接触,北西与扬子板块南缘的侏罗系呈断层接触。由于其处于扬子板块与华夏板块的缝合边界,经受了剧烈的变质变形,尤其是璜山、王家宅一带,原岩因强烈改造往往难以辨认,近年来经大量岩石学和地球化学研究,发现绍兴-诸暨构造带双溪坞群具有独特的地层岩石系列。

### 1. 双溪坞群岩石地层序列

#### a. 中基性火山岩(A段)

呈带状分布于绍兴中岳、平水及诸暨王家宅一带,构成双溪坞群的主体。下部为细碧岩、细碧质凝灰岩、含角砾凝灰岩互层,夹碧玉团块和条带,是本区金、铜矿床的重要赋矿围岩;中部角斑岩与细碧质凝灰岩、角斑质凝灰岩互层;上部为细碧岩、细碧质角砾凝

灰岩。该段在诸暨璜山-石角地段经强烈变质变形,形成混合石英闪长岩,其间穿插有辉绿岩脉。在王家宅地区经变质变形成为片岩、片麻岩、斜长角闪岩和糜棱岩。细碧岩、角闪岩呈浅绿-灰绿色,枕状构造,偶见杏仁状构造,具典型间片结构和交织结构,组成矿物主要为钠长石、更长石和绿泥石,角闪岩基质中含有不等量石英。

#### b. 酸性火山岩 (B段)

所见岩性为石英斑岩、霏细斑岩及流纹质晶玻屑凝灰岩,底部具有锅状韵律层理的硅质岩,分布于构造带西侧兵康一带。石英斑岩和霏细斑岩具块状构造,斑状结构,基质为霏细结构。斑晶主要为石英、长石,基质由石英、长石微粒组成。岩石普遍硅化、绢云母化。流纹质晶玻屑凝灰岩主要由玻屑和少量长石、石英晶屑组成,玻屑已重结晶成绢云母鳞片。

#### c. 具浊流沉积特征的沉积岩 (C段)

主要出露构造带西侧绍兴杜家一带,由凝灰质含砾岩屑砂岩(硬砂岩)、中粗粒长石砂岩、砂岩、粉砂岩、硅质泥岩等组成韵律层,韵律层厚数十厘米,具浊流沉积特征,含砾岩屑砂岩中的砾石岩屑成分复杂,主要为细碧岩、霏细岩以及凝灰岩、硅质岩,其胶结物为砂质、泥质以及凝灰质。

将石角超镁铁质岩和双溪坞群的岩石地层序列、岩石组合类型、结构构造与阿曼塞迈尔、塞浦路斯的特罗多斯以及芬兰的岛湾诸典型蛇绿岩套<sup>[4]</sup>相比,本区除硅质岩层不仅发育外,其余皆可类比。

#### 2. 双溪坞群岩石化学特征和形成的构造环境

双溪坞群中-基性火山岩的岩石化学成分和稀土元素含量列于表3、4,从表3可以看出,各类岩石以富钠( $\text{Na}_2\text{O}$  3.53—5.44%),  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$  比值较高为其突出特征,  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$  均大于0.75,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  均小于1,  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$  均小于0.4,显示海相火山岩的标志性特征。稀土元素丰度为  $(78.38-126.71) \times 10^{-6}$  (表4), 平均为  $94.38 \times 10^{-6}$  ( $\text{La}/\text{Yb})_N$  为 3.11—8.07,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$  为 1.74—3.75, 轻稀土较重稀土富集, 曲线配分模式为右倾型(图4),  $\delta\text{Eu}=0.91-1.17$ , 无明显异常, 显示深源成因的特点, 与现代岛弧钙碱系列安山岩系十分相似。

将各类岩石样品点投影在Miyashiro (1975) 的  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  图上(图5), 所有样品均落在V-V线之下正常火山岩成分范围内, 同时, 投影点大多数落在岛弧火山岩区。少数投影点落在大陆碱性火山岩区边缘。

图6同样表明, 多数样品的投影点落在非碱性的岛弧火山岩区, 少部分细碧岩投影点落在碱性火山岩区。在Middeemost (1980) 的火山岩化学分类图解中(图7) 大多数样品为亚碱性玄武岩和过渡玄武岩, 部分为玄武安山岩, 其中亚碱性玄武岩、过渡玄武岩, 一般  $\text{K}_2\text{O}$  含量为 0.9—2%,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  比值为 3—6, 相对高钠而低钾。此乃深海拉斑玄武岩和岛弧拉斑玄武岩的化学特征, 与都城秋穗认为岛弧环境中通常发育钠质火山岩系列的见解相一致。

双溪坞群中-基性火山岩组合表明, 这是一套元古宙全碱含量高、尤其富钠的钙碱性-弱碱性玄武岩系列为主的岛弧火山岩。

上述讨论表明, 石角超镁铁质岩洋底裂谷带环境的产物, 双溪坞群中-基性火山岩是岛弧火山岩, 二者在岩性和生成环境上具有显著差别。可见绍兴-诸暨构造带内的岩石是

表 3 双溪坞群岩石化学组分 (%)

Table 3 Petrochemical compositions of Shuangxiwu group (%)

| 样品号       | 岩石名称       | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O | 烧失量  | 总量     | Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup> | MgO  | MgO+FeO |
|-----------|------------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|------|-------------------------------|------------------|------|--------|---------------------------------|------------------|------------------------------------|------|---------|
| 1         | 细碧岩 (10)   | 50.16            | 3.05                           | 6.59 | 16.83                          | 1.30             | 5.04 | 4.09 | 1.10             | 4.46              | 0.12 | 0.28                          | 4.12             | 2.77 | 99.91  | 0.85                            | 0.71             |                                    | 0.38 |         |
| 2         | 角闪质细碧岩 (6) | 54.71            | 2.48                           | 6.04 | 16.56                          | 1.00             | 4.06 | 4.21 | 0.88             | 4.50              | 0.21 | 0.21                          | 3.23             | 1.91 | 100.02 | 0.89                            | 0.73             |                                    | 0.41 |         |
| 3         | 角闪岩 (1)    | 57.74            | 2.06                           | 4.02 | 16.25                          | 0.82             | 4.23 | 2.19 | 0.50             | 5.44              | 0.10 | 0.19                          | 1.92             | 4.17 | 100.83 | 0.94                            | 0.68             |                                    | 0.35 |         |
| 4         | 石英角闪岩 (3)  | 67.85            | 1.59                           | 3.09 | 14.65                          | 0.65             | 1.55 | 2.21 | 1.20             | 4.50              | 0.16 | 0.23                          | 1.84             | 1.00 | 100.52 | 0.85                            | 0.68             |                                    | 0.42 |         |
| 5         | 细碧质角闪岩 (1) | 48.27            | 4.51                           | 6.44 | 17.43                          | 1.12             | 4.02 | 4.80 | 1.70             | 4.64              | 0.10 | 0.70                          | 3.35             | 3.20 | 99.78  | 0.81                            | 0.61             |                                    | 0.40 |         |
| 6         | 角闪质角闪岩 (7) | 57.81            | 2.95                           | 4.98 | 15.65                          | 0.88             | 3.73 | 3.54 | 0.77             | 4.71              | 0.13 | 0.31                          | 2.19             | 1.78 | 99.43  | 0.90                            | 0.63             |                                    | 0.42 |         |
| 7         | 石英角闪岩 (2)  | 68.63            | 0.98                           | 2.27 | 11.77                          | 0.50             | 4.32 | 1.29 | 0.62             | 4.35              | 0.10 | 0.13                          | 1.38             | 4.31 | 100.65 | 0.91                            | 0.72             |                                    | 0.36 |         |
| 平均值       |            | 57.37            | 2.52                           | 4.78 | 15.68                          | 0.90             | 3.85 | 3.10 | 0.97             | 4.66              | 0.13 | 0.30                          | 2.58             | 2.73 | 100.28 | 0.88                            | 0.68             |                                    | 0.39 |         |
| 中国同类岩石平均值 |            | 57.39            | 3.10                           | 4.15 | 16.42                          | 0.89             | 5.88 | 3.77 | 2.57             | 4.26              | 0.18 | 0.37                          |                  |      |        | 0.72                            | 0.60             |                                    | 0.48 |         |

注: 中国同类岩石平均值据黎彤、饶纪龙 (1982), 其它资料均为本文

表 4 双溪坞群稀土元素含量 (10<sup>-6</sup>)Table 4 REE-contents of Shuangxiwu group (10<sup>-6</sup>)

| 编号  | 岩石名称    | La    | Ce    | Nd    | Sm   | Eu   | Gd   | Dy   | Er   | Yb   | Lu   | Y     | (Gd/Yb) <sub>N</sub> | (La/Sm) <sub>N</sub> | Eu/Eu <sup>*</sup> |
|-----|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 1   | 变粒岩     | 14.23 | 27.81 | 11.72 | 2.52 | 0.63 | 2.00 | 1.32 | 1.24 | 1.40 | 0.22 | 10.47 | 6.03                 | 5.93                 | 0.96               |
| 2   | 斜长角闪岩   | 18.76 | 40.56 | 25.15 | 5.24 | 1.54 | 4.31 | 3.32 | 1.82 | 1.63 | 0.23 | 16.78 | 6.96                 | 3.58                 | 1.10               |
| 3   | 黑云斜长片麻岩 | 14.12 | 30.83 | 16.52 | 3.59 | 1.14 | 2.72 | 2.32 | 1.13 | 1.10 | 0.15 | 10.63 | 7.62                 | 3.93                 | 1.17               |
| 4   | 混合石英闪长岩 | 14.00 | 29.18 | 14.21 | 2.93 | 0.83 | 2.29 | 1.32 | 1.04 | 1.03 | 0.16 | 10.03 | 8.28                 | 3.70                 | 1.12               |
| 5   | 细碧岩     | 19.58 | 23.22 | 15.49 | 3.61 | 1.20 | 3.67 | 3.32 | 2.24 | 2.11 | 0.31 | 20.22 | 3.11                 | 2.98                 | 1.10               |
| 6   | 细碧质麻岩   | 14.87 | 31.52 | 17.51 | 3.89 | 1.05 | 3.86 | 3.32 | 2.45 | 2.46 | 0.37 | 22.68 | 3.59                 | 3.84                 | 0.91               |
| 7   | 绿片岩     | 12.93 | 27.14 | 14.56 | 3.16 | 1.00 | 2.52 | 2.32 | 1.14 | 1.05 | 0.17 | 11.04 | 7.31                 | 4.09                 | 1.15               |
| 8   | 石英角闪岩   | 10.96 | 23.31 | 15.49 | 3.62 | 1.02 | 3.35 | 3.32 | 1.95 | 2.05 | 0.31 | 16.57 | 3.17                 | 3.03                 | 0.97               |
| 平均值 |         | 13.81 | 29.20 | 16.33 | 3.57 | 1.05 | 3.09 | 2.57 | 1.63 | 1.60 | 0.24 | 14.80 | 5.76                 | 3.89                 | 1.06               |

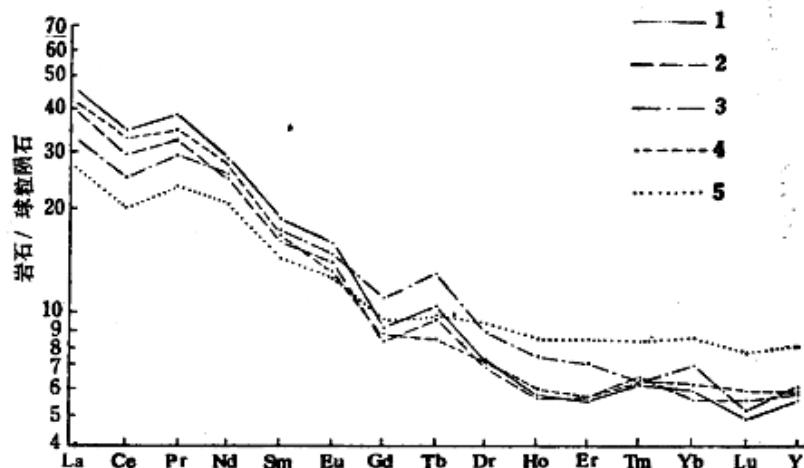


图 4 双溪坞群稀土配分曲线

Fig. 4 The chondrite normalized REE distribution patterns of Shuangxiwu group

1—黑云斜长片麻岩；2—绿片岩；3—斜长角闪岩；4—混合石英闪长岩；5—细碧岩

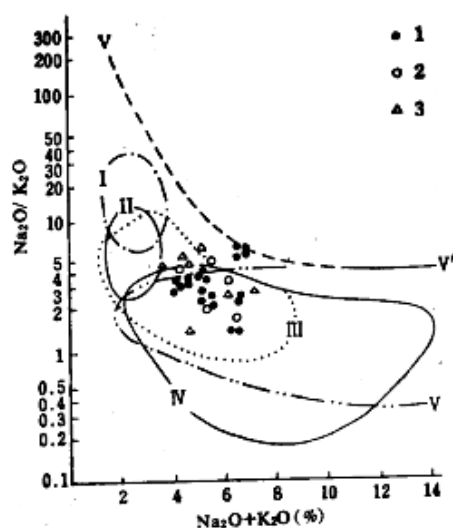


图 5 双溪坞群火山岩  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ — $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  图解

(据 Miyashiro, 1975)

Fig. 5  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ — $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  diagram showing projections of volcanic rocks of Shuangxiwu group

I—深海拉斑玄武岩；II—夏威夷拉斑玄武岩；III—岛弧火山岩；IV—东亚大陆碱性火山岩；V—大西洋碱性火山岩；V—V'—为新鲜火山岩  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  的上限；1—细碧岩类；2—变粒岩类；3—角斑细碧质凝灰岩

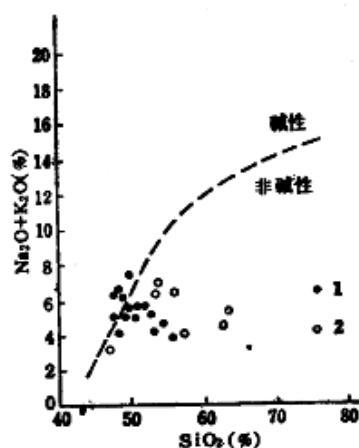


图 6  $\text{SiO}_2$ — $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  图解

(据从柏林等, 1982)

Fig. 6  $\text{SiO}_2$ — $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  diagram showing projections of volcanic rocks of Shuangxiwu group

1—细碧角斑岩类；2—变粒岩类（斜长角闪岩类）

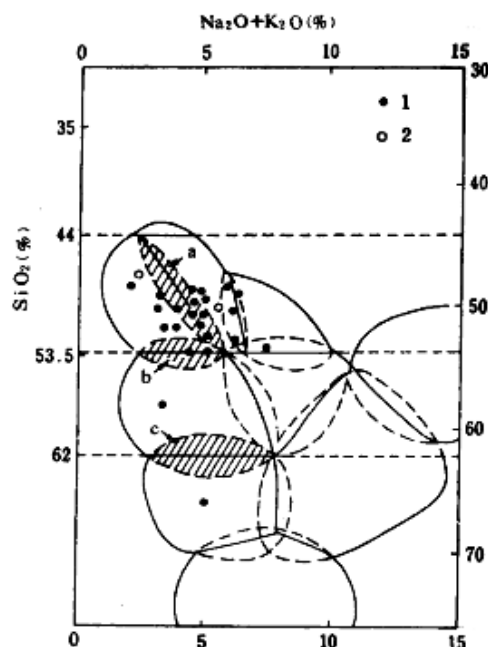


图 7 普通火山岩化学分类图解

(据 Middlemost, 1980)

Fig. 7 Diagram showing  
chemical classification of  
common volcanic rocks

a—过渡玄武岩；b—玄武安山岩；  
c—安山英安岩；1—细碧角斑岩类；  
2—变粒岩类（包括斜长角闪岩）

不同时间、不同环境、不同成因作用形成的一种特殊的共生组合，它们能够共生在一起，是在华夏板块向扬子板块俯冲敛合过程中形成的。

## 二、双溪坞群的变质作用

双溪坞群所处构造部位不同，其变质矿物组合和变质级序也有差异。绍兴-诸暨构造带北西侧绍兴平水至中岙一带，经受较弱的区域热动力变质作用，虽局部组成绿岩、绢云母石英片岩，但大部分仍保留原岩岩性和结构构造特征。通常出现的变质矿物为绢云母、绿泥石、绿帘石、钠长石及石英，属绿片岩相。

构造带内诸暨桐树林至赵家、王家宅一带，变质梯度骤增，形成较复杂的变质岩系，除绿帘绿泥片岩、黑云石英片岩以外，还有变粒岩、绿帘绿泥片岩、斜长角闪岩、黑云二长片麻岩其矿物组合有斜长石（中、更长石）、普通角闪石、黑云母、石英、绿帘石、绿泥石及少量榍石和钛铁矿组成。浅粒岩、黑云石英片岩则由斜长石、石英、黑云母及少量钾长石、绢云母组成。璜山附近双溪坞群发生混合岩化作用，形成混合石英闪长岩。据 H.G.F 温克勒（1975）认为普通角闪石与绿帘石、斜长石共生，只能在压力不高地段出现，其变质反应为阳起石 + 斜黧帘石 + 石英 = 角闪石<sup>[5]</sup>，该反应温度为 400—500℃，相当于绿帘-角闪岩相。

由此可见，双溪坞群的变质相系列是绿片岩相→绿帘-角闪岩相→角闪岩相。混合岩化发育地段是由于区域热动力异常，断裂带内温度骤增，引起进一步变质作用的结果。

这里还应该指出，在双溪坞群不同级序的变质相带之上，往往不同程度地叠加了与成矿关系密切的韧性剪切变质带，由糜棱岩、千糜岩及石英脉组成，出现退变质作用形成的绿泥石、绢云母、白云母、石英及碳酸盐等新生的动力变质矿物。通过糜棱岩带普遍发

表 5 双溪坞群变质岩原岩恢复结果

Table 5 Original rocks restoration results of metamorphic rocks of Shuangxiwu Group

| 样号 | 岩石名称    | 不同方法原岩恢复结果 |             |                                                                            |                                    | 原岩综合判断结果 |
|----|---------|------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------|
|    |         | 西蒙南图解      | K-A<br>相关图解 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)<br>图解 | mg-K图解<br>(Al+Fe+Ti)-(Ca+Mg)<br>图解 |          |
| 1  | 变粒岩     | 火山岩        | 火成岩         | 酸性火山岩                                                                      | 石英角斑岩                              | 石英角斑岩    |
| 2  | 碎粒化变粒岩  | 火山岩        | 火成岩         | 酸性火山岩                                                                      | 英安质凝灰岩                             | 石英角斑质凝灰岩 |
| 3  | 变粒岩     | 火山岩        | 火成岩         | 酸性火山岩                                                                      | 角斑岩                                | 角斑岩      |
| 4  | 黑云斜长变粒岩 | 火山岩        | 火成岩         | 中性火山岩                                                                      | 英安质凝灰岩                             | 中性火山岩    |
| 5  | 浅粒岩     | 火山岩        | 火成岩         | 酸性火山岩                                                                      | 石英角斑岩                              | 石英角斑岩    |
| 6  | 浅粒岩     | 砂岩         | 粉砂岩         | 酸性火山岩                                                                      | 英安质凝灰岩                             | 砂岩       |
| 7  | 浅粒岩     | 砂岩         | 粉砂岩         | 酸性火山岩                                                                      | 英安质凝灰岩                             | 砂岩       |
| 8  | 绿帘绿泥片岩  | 火山岩        | 火成岩         | 中性火山岩                                                                      | 细碧岩或玄武岩                            | 中性火山岩    |
| 9  | 绿帘绿泥片岩  | 火山岩        | 火成岩         | 泥质岩                                                                        | 细碧岩                                | 基性火山岩    |
| 10 | 黑云石英片岩  | 火山岩        | 火成岩         | 酸性火山岩                                                                      | 英安质凝灰岩                             | 英安质凝灰岩   |
| 11 | 斜长角闪岩   | 火山岩        | 火成岩         | 中性火山岩                                                                      | 细碧岩                                | 基性火山岩    |
| 12 | 斜长角闪岩   | 火山岩        | 火成岩         | 中性火山岩                                                                      | 英安质凝灰岩                             | 泥质岩      |
| 13 | 斜长角闪岩   | 火山岩        | 火成岩         | 中性火山岩                                                                      | 细碧岩                                | 基性火山岩    |
| 14 | 斜长角闪岩   | 火山岩        | 火成岩         | 泥质岩                                                                        | 细碧岩                                | 基性火山岩    |
| 15 | 黑云斜长片麻岩 | 火山岩        | 火成岩         | 中性火山岩                                                                      | 角斑岩                                | 中性火山岩    |
| 16 | 黑云斜长片麻岩 | 泥岩         | 粉砂岩         | 中性火山岩                                                                      | 角斑岩                                | 中性火山岩    |

育的多硅白云母的 $b_0$ 测定 ( $9.033 \times 10^{-10} \text{m}$ )<sup>[1]</sup>, 确定糜棱岩形成的压力<sup>[6]</sup>为500—700MPa, 温度大致为300—400℃。

为了恢复各种变质岩的原岩, 本文选择了经实践证明有效或较有效的几种岩石化学方法互相验证、综合分析, 确定其原岩类型。其中有A. 西蒙南的尼格里值  $(\text{al} + \text{fm}) - (\text{C} + \text{alk})$  对 Si 图解; Mg-K 图解 (长春地质学院, 1975); B. 莫依纳等的  $(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Ti})$  对  $(\text{Ca} + \text{Mg})$  图解及  $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  图解, 结合  $\text{Na}/(\text{Na} + \text{K})$  比值 ( $>0.75$  一般为细碧岩-石英角斑岩), 将本区原岩类型综合判别结果列于表 5。

从表 5 中可知, 变粒岩原岩为石英角斑岩、角斑岩及凝灰岩; 黑云斜长变粒岩原岩为细碧质凝灰岩或安山质凝灰岩; 浅粒岩为石英角斑岩或砂岩; 绿泥绿帘片岩为细碧岩或凝灰岩; 黑云石英片岩为英安质凝灰岩; 斜长角闪岩为细碧岩及英安质凝灰岩、中-基性火山岩; 黑云斜长片麻岩为角斑岩及中性火山岩。可见双溪坞群变质岩主要为正变质的中基性火山岩, 仅少数为副变质砂岩。

### 三、双溪坞群的含金性

#### 一、金的概率分布型式

据绍兴地区74件样品、诸暨地区54件样品按其含金量, 所作频率分布直方图和对数金含量频率分布直方图 (图 8), 可得出如下认识:

a. 双溪坞群南北两段金含量分布范围宽, 离散度大, 低含量区间分布频率高 (绍兴地区53%的样品落在  $0-4 \times 10^{-9}$ , 诸暨地区38%的样品落在  $0-3 \times 10^{-9}$ ), 频率分布曲线不规则, 不服从正态分布。

b. 金含量对数频率分布图表明, 频率分布曲线呈双峰式, 它是由两条呈钟状对称分布的曲线叠加而成的, 即是由两个对数正态子体随机叠加的结果。因此, 双溪坞群 Au 含量服从对数正态分布, 而且在地质历史过程中, 至少经历了两期金的地球化学叠加作用, 这种叠加是随机的、不均匀的。

c. 矿区岩石 Au 含量对数频率分布曲线呈三峰式, 它是区域背景上局部叠加一个随机对数正态子体而成的, 这一叠加过程实际上反映了金的成矿过程, 其结果是生成了具有工业意义的金矿床。

#### 二、双溪坞群含金丰度的确定

通常将地质体或地球化学系统中元素的平均含量称为该元素的丰度<sup>[7]</sup>, 考虑到双溪坞群 Au 明显受到不同期次的地球化学作用的叠加影响, 而且这种叠加又非借助野外观察和室内镜下研究等方法所能确定的。因此, 笼统用样品测定的金含量平均值来表示岩石的含金丰度是不适当的, 因为这种方法并未将岩石初始本底 Au 含量和后期地球化学叠加的 Au 区分开来, 从而不能真实地反映“丰度”概念中所包含的“初始本底”的含义。因此, 在求双溪坞群含金丰度时, 首先对样品进行双重母体分解, 以清除叠加影响。求得 Au 含量对数值的算术平均值  $\bar{X}$  和方差  $S$ , 以  $(\bar{X} + 2S)$  为标准, 对样品金含量进行对数正态检验, 剔除不服从对数正态分布的超差样品, 然后取各类岩石 Au 含量对数正态分布的数学期望值为 Au 在该类岩石中的本底含量。以各类岩石的样品数为权, 对 Au 含量进行加权算术平均计算, 以求得双溪坞群金丰度, 结果见表 6。

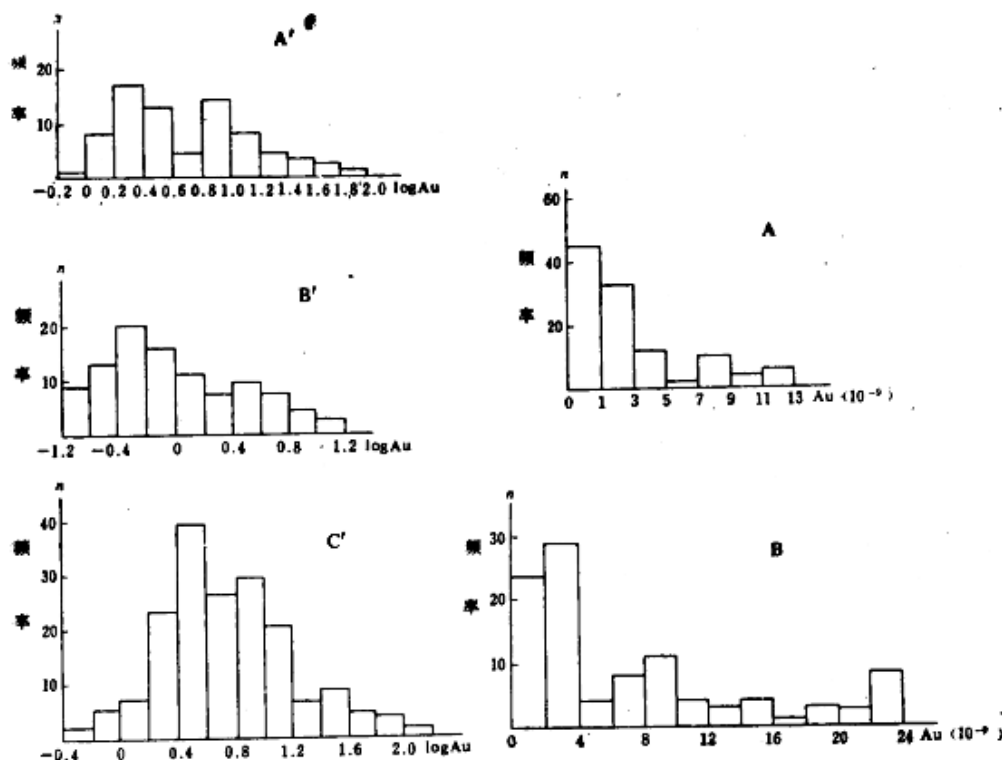


图 8 双溪坞群金含量频率分布和金含量对数频率分布直方图

Fig. 8 Histogram showing frequency distributions of gold content and logarithmic value of Au-content in Shuangxiwu Group

A, A'—中岳地区; B, B'—瓯山地区; C'—中岳矿区

由表 6 表明, 双溪坞群金丰度 ( $6.79 \times 10^{-9}$ ) 高于地壳丰度 ( $4 \times 10^{-9}$ , 涂千里、费德波, 1961), 据此, 可认为双溪坞群是一富金建造, 但其金丰度在空间上分布不稳定, 北段绍兴地区较高 ( $7.68 \times 10^{-9}$ ), 向南到诸暨瓯山地区逐渐低到  $3.35 \times 10^{-9}$ , 这可能与诸暨瓯山、王家宅地区变质程度深, 金趋于贫化有关。

### 三、金在各类岩石中的分配及其赋存状态

表 6 表明, 金在各类岩石中分布极不均匀按岩石本底含量高低排列, 双溪坞群主要类型岩石的含金顺序依次为: 千糜岩 > 角斑质凝灰岩 > 细碧岩 > 砂岩、粉砂岩 > 变粒岩 > 混合石英闪长岩 > 糜棱岩 > 斜长角闪岩。与世界同类岩石相比, 前四种岩石表现为富金特征, 混合石英闪长岩、糜棱岩、变粒岩和斜长角闪岩则表现为贫金特点。千糜岩受矿化影响显著, 角斑质凝灰岩和细碧岩是双溪坞群主要的岩石类型, 厚度大, 分布广, 是双溪坞群的主要载金岩石, 千糜岩则是金的富集岩石。从表中还可看出, 相同岩石不同样品的富集系数变化范围大, 角斑质凝灰岩和细碧岩、千糜岩、变粒岩的变异系数 ( $S/\bar{X}$ ) 均大于 1, 表明同种岩石中金含量分配也是极不均一的。

通过对双溪坞群细碧岩、角斑岩、混合石英闪长岩中金的物相分析, 获得了金的赋存形式及其比例, 金主要以自然金、硅酸盐中的赋存金、硫化物中赋存金和可交换的吸附金



表 6 双溪坞群金丰度

Table 6 Gold abundance of Shuangxiwu Group

| 地 区             | 岩 石 类 型 | 编 号 | 样 数 | $\bar{X}$<br>( $10^{-3}$ ) | S     | $\frac{S}{\bar{X}}$ | 富集系数①         | 矿化强度 |
|-----------------|---------|-----|-----|----------------------------|-------|---------------------|---------------|------|
| 中<br>香          | 粉砂岩+砂岩  | 1   | 18  | 4.98                       | 3.05  | 0.61                | 1.25          | 0.66 |
|                 | 角砾质凝灰岩  | 2   | 57  | 8.52                       | 11.75 | 1.38                | 0.4—20.7(2.1) | 1.12 |
|                 | 细碧岩     | 3   | 99  | 7.68                       | 12.45 | 1.62                | 0.1—27(1.9)   | 1.01 |
|                 | 千糜岩     | 4   | 5   | 30.62                      | 25.11 | 0.82                | 3.9—25(6.5)   | 4.03 |
|                 | 糜棱岩     | 5   | 4   | 6.36                       | 4.24  | 0.67                | 1.06          | 0.84 |
| 本底含量(1,2,3平均)   |         |     | 174 | 7.68                       |       |                     |               |      |
| 璜<br>山          | 混合石英闪长岩 | 6   | 17  | 3.36                       | 3.13  | 0.93                | 0.1—2.9(0.8)  | 1.00 |
|                 | 变粒岩     | 7   | 20  | 3.51                       | 6.37  | 1.81                |               | 1.05 |
|                 | 千糜岩     | 8   | 3   | 32.33                      | 54.31 | 1.68                | 8.08          | 4.26 |
|                 | 糜棱岩     | 9   | 9   | 2.41                       | 2.49  | 1.03                | 0.1—1.9(0.6)  | 0.32 |
|                 | 斜角闪岩    | 10  | 7   | 2.66                       | 6.10  | 1.18                | 0.2—2.8(0.7)  | 0.79 |
| 本底含量(6,7,10 平均) |         |     | 45  | 3.35                       |       |                     |               |      |
| 金 丰 度           |         |     | 219 | 6.79                       |       |                     |               |      |

① 与同类岩石世界平均值相比, 括号内数字为参与平均值计算的岩石序号

四种状态存在于岩石中, 其中自然金占(68—73)%, 硅酸盐中金占15.5%, 硫化物中金占(11—15)%, 可交换的吸附金占0.5%。在火山岩中金一般比较分散, 主要赋存在黑云母、角闪石等暗色矿物中<sup>[5]</sup>, 双溪坞群则是以自然金为主, 硅酸盐中的金所占比例低, 说明双溪坞群岩石在变质作用过程中, 由于硅酸盐晶体结构类型的变化(单链=双链=层状), 使其中的Au无法继续存在而被释放出来, 并发生不同程度的归并而成自然金粒。

#### 四、微量元素对金地球化学行为的指示信息

地质体每经历一次地质事件, 都会导致岩石中某些微量元素的活化迁移, 在地质体中建立起新的分配平衡关系, 造成某些元素特定的结合状态和组合关系。因此, 研究地质体中某一元素(Au)与其它微量元素的组合关系, 在一定程度上能揭示该元素(Au)在地质体演化中的地球化学活动史。表7表示了双溪坞群某些微量元素的分布特征。

表 7 双溪坞群微量元素含量( $10^{-6}$ )

Table 7 The contents of minor elements in Shuangxiwu group

| 元素<br>参数            | Ag    | Cu    | Pb    | Zn    | Co    | Ni    | V      | Mn     | Ti      | As   | Sb   | Bi   | Hg    | Mo    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|------|------|------|-------|-------|
| $\bar{X}(61)$       | 0.059 | 86.78 | 16.87 | 91.66 | 16.73 | 23.15 | 123.49 | 955.66 | 3095.44 | 2.14 | 0.42 | 1.17 | 6.44  | 9.37  |
| $\sigma(S/\bar{X})$ | 0.24  | 1.71  | 0.87  | 1.12  | 0.94  | 0.12  | 1.18   | 0.78   | 0.41    | 3.34 | 1    | 1.91 | 0.88  | 1.17  |
| 富集系数①               | 0.84  | 2.48  | 1.12  | 1.27  | 1.67  | 0.42  | 1.23   | 0.80   | 0.39    | 0.89 | 2.1  | 117  | 71.56 | 15.62 |

① 元素本底含量和世界同类岩石平均值之比