

# 粤北清远—英德地区震旦系 含金性评价的地球化学准则

彭少梅

伍广宇 张奋生 肖光铭

(中南工业大学地质系,长沙)

(广东省地质矿产局 706 地质大队,广东省韶关市)

**提 要** 本文对粤北清远,英德地区震旦系含金和不含金地层的金丰度,元素特征值和分布型式、地层中金和有关元素的特定组合、以及地层中金的矿物学占位等进行了较详细的研究,从而得出该地区震旦系地层含金性评价的 7 条地球化学准则。本文的研究思路及所提出的判别准则,对其它地区的地层含金性评价,也具有较重要的参考价值。

**关键词** 清英地区 震旦系 矿源层 金矿化 聚类分析 因子分析

本文的粤北清远,英德地区是指吴川—四会断裂变质带北东端的浸潭、新洲,西牛一带。这一地区广泛分布着被认为是金矿矿源层的震旦系浅变质地层<sup>[1,2]</sup>,新洲金矿床以及一批金矿点,几乎毫无例外地产生在该变质地层中的有利构造部位。这套浅变质地层,在其成岩以后的各种地质作用下<sup>[3]</sup>,原始堆积的金发生了有规律的迁移、贫化和富集<sup>[4]</sup>,因此可将本地区的震旦系划分为含金地层和不含金地层。前者指地层中的金以迁入、富集为主,并有金矿床(点)产出;后者指地层中的金发生迁出,呈现出贫化特征,且没有金矿床(点)产出。

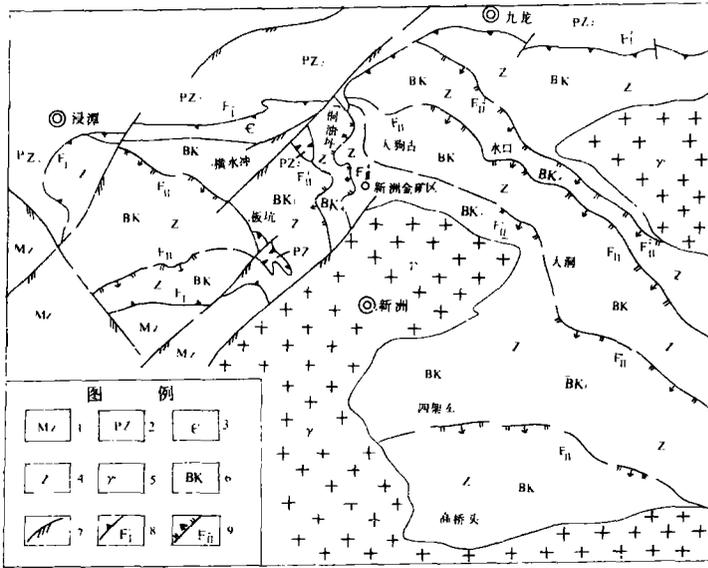
## 1 区域地质特征

### 1.1 地质概况

#### 1.1.1 地层

震旦系原岩为一套浅海相类复理石建造,在加里东期,经历了以低级绿片岩相为主的区域变质作用。岩性以二云母片岩为主,中部及上部夹有二云母石英岩和变质杂砂岩,总厚度大于 675 米。这套岩层在同推覆构造期,叠加了强烈的动力变质作用,从而在推覆断裂带附近和片体内的韧性变形域中形成云母石英初糜棱岩和糜棱岩,局部形成超糜棱岩和长英质混合岩<sup>[3]</sup>。

#### 1.1.2 构造



图例说明:1.中生界 2.上古生界 3.寒武系 4.震旦系 5.燕山期花岗岩 6.推覆片体编号 7.逆冲断裂 8. I级推覆断层带及编号 9. II级逆冲推覆断层带及编号

图1 粤北清远、英德地区地质构造简图

Fig. 1 The geological sketch map of Qingyuan-Yingde area Northern Guangdong Province

区域上处于吴川—四会北东向断裂变质带、佛岗—丰良东西向构造带西段和粤北山字型构造前弧西翼的交汇部位。该区震旦系地层整体表现为—褶皱式逆冲推覆构造<sup>[3]</sup>(图1),从南西向北东近水平地逆冲到泥盆系—石炭系碳酸盐岩及碎屑岩之上,逆冲距离大于25Km。由震旦系地层组成的外来系统厚约1.1~ Km,被数条走向北西—北北西、倾向南西、长约3~ 10Km的缓倾斜(倾角10°~30°)“犁式”的II级逆冲断层带分割成一系列大小不等的推覆片体。在每个推覆片体内,有规律地发育了韧性和脆性的次级(III—IV)逆冲断层,使震旦系地层经历了同推覆期的强烈的改造作用和置换作用。据研究,该推覆体形成于印支—燕山期,并被后推覆期构造活动所叠加和改造<sup>[3]</sup>。

1.1.3 岩浆岩

该地区的岩浆岩主要为燕山期中粗粒黑云母花岗岩,区域上属佛岗—丰良岩浆带的一部分,花岗岩与震旦系呈侵入接触关系(图1)。据同位素、微量元素和稀土元素综合分析,花岗岩与该区三种类型金矿床的关系均不明显或无直接联系<sup>①</sup>

1.2 震旦系变质地层的有关特征

1.2.1 区域地球化学特征

清英地区的震旦系是一套经多次地质作用叠加和改造的复杂岩性组合,地层中的组份经受了长期的调整和重组。<sup>[2]</sup>。从表1来看,该区震旦系地层中Bi、Sb、As、w、Pb、Cu相对富集,Au、

① 彭少梅,粤北新洲逆冲推覆型金矿成矿系列。《地质论评》,1990 待刊。

Ag、Zn、Co、Ni、Hg、S 相对贫化,而 Mo 则接近地壳平均含量。从表 2 来看,金平均含量( $X_a$ )以二云母石英片岩最高(5.01ppb),变质细—粉砂岩中最低(2.82ppb)。但所有岩性中反映金总体含量水平的算术平均值  $X_a$  和反映集中含量水平的几何平均值  $X_g$  均比较接近, $X_g/X_a$  在 0.91~0.95 之间,且变异系数较小(19.02~44.56%),含金量变化范围较小(1.0~6.0ppb),说明金在同一岩性中的分布都是较均匀的。同时,该地层富 Al、Mg、K,贫 Na、Ca; $K_2O > Na_2O$ , $FeO > Fe_2O_3$ , $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$ (表 3)。另外,片岩类岩石  $MgO > CaO$ ,石英岩类岩石  $MgO、CaO$  近于相等,但  $SiO_2$  较高。

表 1 清英地区区域震旦系地层微量元素平均含量(ppm)

Table 1 The average contents of microelements of regional Sinian strata in Qingyuan-Yingde area(ppm)

| 项 目 \ 元 素           | Au<br>(ppb) | Ag<br>(ppb) | Cu    | Pb    | Zn    | Mo    | W     | As    | Sb    | Bi    | Co    | Ni    | Hg<br>(ppb) | S      | 样品<br>个数 |
|---------------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------|----------|
| 平均值                 | 3.52        | 45.0        | 72.84 | 25.57 | 78.76 | 1.207 | 4.256 | 29.98 | 4.838 | 0.555 | 11.09 | 30.90 | 11          | 309.12 | 250      |
| 浓集倍数                | 0.82        | 0.64        | 1.55  | 1.60  | 0.95  | 1.09  | 3.27  | 17.63 | 9.68  | 61.67 | 0.61  | 0.53  | 0.13        | 0.66   |          |
| 地壳平均含量<br>(维氏,1962) | 4.3         | 70          | 47    | 16    | 83    | 1.1   | 1.3   | 1.7   | 0.5   | 0.009 | 18    | 58    | 83          | 470    |          |

测试单位:广东地矿局 706 队化验室。光谱半定量—La、Y、Nb、Ni;光谱定量—Ag、Sn;原子吸收—Cu、Pb、Zn;原子荧光—As、Sb、Bi、Hg;催化极谱—W;比色法—Au。下同

表 2 区域震旦系地层中金含量的地球化学特征值(ppb)

Table 2 The geochemical characteristic values of Au content of regional Sinian strata(ppb)

| 特 征 值 \ 岩 性 | 石英二云母片岩 | 二云母石英片岩 | 石英岩   | 长石云母<br>石英角岩 | 变质细—粉砂岩 | 硅质板岩  |
|-------------|---------|---------|-------|--------------|---------|-------|
| $X_a$       | 3.67    | 5.01    | 3.10  | 3.78         | 2.82    | 3.12  |
| $X_g$       | 3.43    | 4.66    | 2.98  | 3.47         | 2.70    | 2.84  |
| $X_g/X_a$   | 0.94    | 0.93    | 0.93  | 0.92         | 0.95    | 0.91  |
| $\sigma$    | 0.84    | 2.25    | 0.59  | 1.21         | 1.12    | 1.03  |
| $C_v(\%)$   | 23.12   | 44.56   | 19.02 | 32.48        | 40.00   | 33.28 |
| 最大含量        | 4.0     | 6.0     | 4.0   | 5.0          | 4.0     | 5.0   |
| 最小含量        | 2.0     | 1.0     | 3.0   | 2.0          | 2.0     | 2.0   |
| 样品数         | 51      | 35      | 55    | 30           | 45      | 34    |

注: $X_a$ 、 $X_g$ 、 $\sigma$  和  $C_v$  分别为算术平均值、几何平均值、标准差和变异系数,下同

据研究<sup>①</sup>,加里东期的区域变形变质作用,使震旦系地层中原始堆积的金<sup>②</sup>部分地转入变质热液,并在强置换域中初步富集。在印支期韧性逆冲推覆阶段初步富集带中的金再次活化<sup>③</sup>转入富含Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>的动力变质热液中,并呈氯的络合物形式迁移。最后,在燕山期脆性逆冲推覆阶段,含金热液在Ⅱ—Ⅳ级逆冲推覆断层带中的脆性区段充填,交代,形成下述三种类型的金矿床。

表3 清英地区震旦系地层岩石化学分析结果

Table 3 Petrochemical compositions of Sinian strata in Qingyuan Yingde area

| 采样位置 | 岩石名称    | 化学成分(%)          |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |                  |                 | 总计(%) |
|------|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------|
|      |         | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> |       |
| 高桥头  | 二云母石英岩  | 74.98            | 0.90             | 11.50                          | 0.64                           | 3.70 | 0.06 | 1.51 | 1.18 | 2.30              | 2.10             | 0.14                          | 0.05             | 0.89            | 99.95 |
|      | 云母石英片岩  | 62.12            | 0.95             | 18.34                          | 0.96                           | 5.60 | 0.05 | 2.77 | 0.56 | 0.58              | 3.80             | 0.11                          | 0.17             | 3.46            | 99.47 |
| 浸潭   | 云母石英岩   | 77.36            | 0.98             | 10.38                          | 1.22                           | 2.78 | 0.04 | 1.45 | 0.67 | 1.60              | 2.20             | 0.11                          | 0.70             | 1.13            | 99.90 |
|      | 二云母石英片岩 | 60.54            | 0.95             | 17.56                          | 1.49                           | 5.65 | 0.66 | 3.02 | 0.86 | 1.30              | 5.30             | 0.13                          | 0.16             | 2.59            | 99.60 |

测试单位:广东省地矿局706地质队化验室

### 1.2.2 矿化特征

清英地区震旦系地层中现已查明有新洲金矿床及一批金矿点,其中有一些具有很好的找矿前景。其成矿类型可分为含金碎裂石英脉型、含金糜棱岩型和含金碎裂钠长石岩型<sup>[5]</sup>。

1.2.2.1 含金碎裂石英脉型 受推覆片体内Ⅲ—Ⅳ级韧性和脆—韧性逆冲断裂控制,矿石为含金富硫化物碎裂石英脉,金的成矿主要发生在金—毒砂—黄铁矿阶段以及金—多金属硫化物阶段。成矿热液主要属中低温变质—混合岩化热液,晚期则有大气降水参与,大部分的金来自于矿床的围岩——震旦系变质地层<sup>④</sup>,成矿时期为燕山期。

1.2.2.2 含金糜棱岩型 受推覆片体内Ⅲ—Ⅳ级韧性剪切带控制,含矿岩石为剪切带中心的糜棱岩和超糜棱岩。含矿糜棱岩的原岩主要为震旦系二云母石英片岩。在韧性剪切带发展的晚期,含金热液沿糜棱岩带渗透交代,并在脆性区充填成矿,则形成碎裂石英脉型金矿床。因此,碎裂石英脉型金矿体与糜棱岩型金矿体在空间上经常共生<sup>⑤</sup>。

1.2.2.3 含金碎裂钠长石岩型 这是一种新近发现的矿化类型,矿体主要受Ⅱ级韧性逆冲推覆断裂带及其下盘的逆冲推覆早期剖面韧性共轭断裂带的控制。在这些断裂带中,2~20米厚的钠长石岩以及钙质—白云质碳酸盐岩组成脉带,矿体产于近脉带顶底板的碎裂黄铁矿化钠长石岩区段,成矿时期早于含金石英脉型,但晚于含金糜棱岩型。成矿时期温度较高,成矿物

① 彭少梅,粤北新洲推覆构造同推覆期岩石体变与金矿化的关系。《地质学报》,1990,待刊。

② 彭少梅,何绍勋,段嘉瑞,粤北清远——英德地区震旦系乐昌峡群中金等微量元素的分布。《中南矿冶学院学报》,(5)1991,待刊。

③ 彭少梅,粤北新洲推覆构造同推覆期岩石体变与金矿化的关系。《地质学报》1990,待刊。

④ 彭少梅,粤北新洲金矿床的地质特征及其成因,《矿产与地质》,1990,待刊

⑤ 彭少梅,粤北新洲金矿床的地质特征及其成因,《矿产与地质》,1990,待刊

质除来自外来系统震旦系地层外,还来源于地壳深部<sup>①</sup>

## 2 震旦系不含金地层的地球化学特征

为了研究清英地区震旦系不含金地层的地球化学特征,工作中选择了不受矿化和蚀变影响或影响微弱的浸潭横水冲、鱼坝高桥头和乳源单板坑三个地点。这三个小区属推覆构造的后缘带(如高桥头)或推覆片体中心部位的中弱变形域(如横水冲),在同推覆期变形变质作用过程中属金的贫化区域。对其震旦系变质地层进行了系统的岩石加密系样,在数据处理过程中对那些含金量很高,出现频率又很低的样品进行剔除<sup>[4]</sup>。

### 2.1 地层中金及有关微量元素的丰度

为了获取研究区中震旦系不含金地层金及有关元素的丰度,分别测定了单板坑、横水冲、高桥头的震旦系地层中金及有关微量元素的含量,并整理和计算(表4)。从表4可以看出,地层中Au丰度均较低(3.04~3.42ppb)低于区域震旦系地层的平均含量(表1,3.52ppb)。从表2与表5对比,长石云母石英角岩、变质细—粉砂岩及硅质板岩的金含量均变化不大;但不含金地层中石英二云母片岩、二云母石英片岩和石英岩中的金均发生迁出<sup>[6]</sup>,迁出率 $\Delta Au$ 约-1.0ppb。

同时,与区域对比,Cu、Pb、Zn、Ag、As发生迁出,Bi、W、La迁入,而Hg、Sb、Ni、Nb则变化不大。

表4 震旦系不含金地层金及有关微量元素的丰度(ppm)

Table 4 The abundances of Au and other microelements of nonauriferous Sinian strata (ppm)

| 地点            | 项目   | Au<br>(ppb) | Ag<br>(ppb) | As    | Sb   | Bi     | Hg<br>(ppb) | w    | Sn    | Cu   | Pb   | Zn    | La   | y    | Nb   | Ni   | 样品<br>个数 |
|---------------|------|-------------|-------------|-------|------|--------|-------------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|----------|
| 横水冲           | 平均值  | 3.42        | 40          | 13    | 0.99 | 0.40   | 33          | 6.6  | 2.4   | 17.6 | 12.4 | 25.0  | 33   | 36   | 14   | 28   | 50       |
|               | 浓集系数 | 0.80        | 0.57        | 7.65  | 1.98 | 44.44  | 0.40        | 5.08 | 0.96  | 0.37 | 0.77 | 0.30  | 1.14 | 1.24 | 0.7  | 0.48 |          |
| 单板坑           | 平均值  | 3.04        |             | 22.5  | 4.0  | 1.0    |             | 7.80 | 3.0   | 26.2 | 15.0 | 45.2  |      | 28   | 13   | 30   | 55       |
|               | 浓集系数 | 0.71        |             | 13.24 | 8.00 | 111.11 |             | 5.62 | 10.48 | 0.56 | 0.94 | 0.54  |      | 0.97 | 0.65 | 0.51 |          |
| 高桥头           | 平均值  | 3.2         | 35          | 21.07 | 0.6  | 0.36   | 50          | 7.4  | 2.62  | 18.2 | 7.60 | 52.95 | 38   | 32   | 14   | 33   | 243      |
|               | 浓集系数 | 0.74        | 0.57        | 12.76 | 1.2  | 40     | 0.6         | 5.69 | 1.05  | 0.38 | 0.5  | 0.64  | 1.31 | 1.10 | 0.7  | 0.57 |          |
| 地壳丰度(维氏,1962) |      | 4.3         | 70          | 1.7   | 0.5  | 0.009  | 83          | 1.3  | 2.5   | 47   | 16   | 83    | 29   | 29   | 20   | 58   |          |

### 2.2.1 地层中金的地球化学特征值

震旦系不含金地层中金的地球化学特征值均比较一致(表5、表6)。综合岩性(表6)或单一岩性(表5)的 $Xg/Xa$ 在0.84~0.99之间, $Cv$ 在17.12~59.19%之间,金含量在1.0~17.

① 彭少梅,粤北新洲地区发现一种新的金矿床类型。《地质找矿论丛》1990待刊

Oppb 之间,虽然与区域地层略有不同,但金在地层中的分布还是比较均匀的。这也说明,在同逆冲推覆期,震旦系不含金地层中金的迁出作用,在同一岩性中是比较均匀的。

表 5 震旦系不含金地层中金含量的地球化学特征值(ppb)

Table 5 The geochemical characteristic values of Au content of nonauriferous Sinian strata(ppb)

| 岩性<br>特征值 | 石英二云母片岩 | 二云母石英片岩 | 石英岩   | 长石云母<br>石英角岩 | 变质细—粉砂岩 | 硅质板岩  |
|-----------|---------|---------|-------|--------------|---------|-------|
| Xa        | 2.78    | 4.18    | 2.06  | 3.82         | 3.0     | 3.0   |
| Xg        | 2.63    | 3.52    | 2.03  | 3.37         | 2.83    | 2.71  |
| Xg/Xa     | 0.95    | 0.84    | 0.99  | 0.88         | 0.94    | 0.90  |
| $\sigma$  | 0.94    | 2.47    | 0.35  | 1.52         | 0.64    | 0.64  |
| Cv(%)     | 33.88   | 59.19   | 17.12 | 42.09        | 21.32   | 31.22 |
| 最大含量      | 13.0    | 11.0    | 13.0  | 17.0         | 4.0     | 4.0   |
| 最小含量      | 1.0     | 1.0     | 1.0   | 1.0          | 2.0     | 2.0   |
| 样品数       | 42      | 134     | 86    | 48           | 17      | 21    |

表 6 震旦系不含金地层中金的地球化学特征值

Table 6 The geochemical characteristic values of Au of nonauriferous Sinian strata

| 地点  | Xg   | Xa   | Xg/Xa | $\sigma$ | Cv(%) | 样品数 |
|-----|------|------|-------|----------|-------|-----|
| 横水冲 | 3.05 | 3.42 | 0.892 | 2.19     | 64.09 | 50  |
| 单板坑 | 2.89 | 3.04 | 0.953 | 0.873    | 28.75 | 55  |
| 高桥头 | 3.14 | 3.20 | 0.981 | 2.41     | 75.31 | 243 |

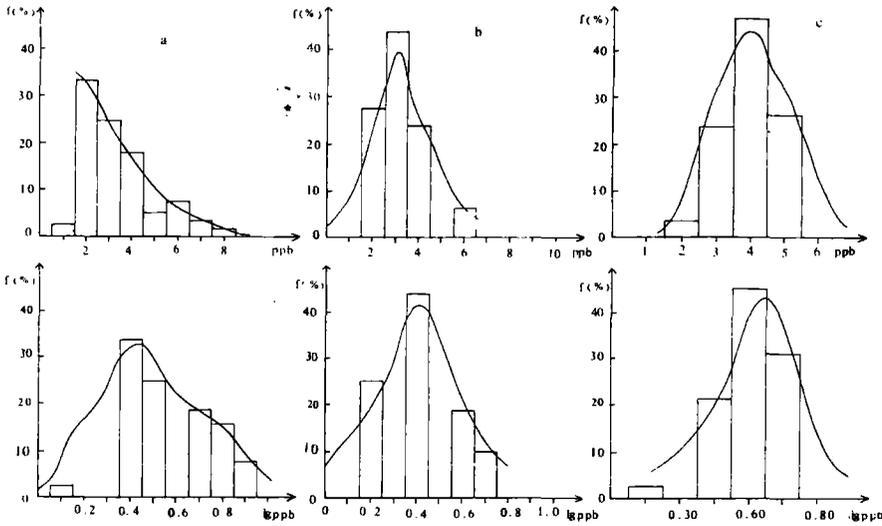
注: Xa、Xg、 $\sigma$ 、Cv 分别为算术平均值、几何平均值、标准差和变异系数(下同)

### 2.3 地层中金及有关微量元素分布型式

为了系统地研究清英地区震旦系不含金地层中金的含量变化及波动起伏状况,以揭示其中隐涵的一些地球化学信息,将三个研究小区内震旦系地层中金的含量变化以金含量分布频率直方图和对数分布频率直方图(图 2)直观地表达出来。从图 2 中可以看出,震旦系不含金地层中金的分布型式为正偏或正态分布(单板坑)。当转换成对数值后,金的含量均接近比较完美的正态分布。说明这些震旦系地层在历次的地质作用过程中,数个地球化学过程是均匀地叠加的。

### 2.4 地层中金及有关元素的组合特征

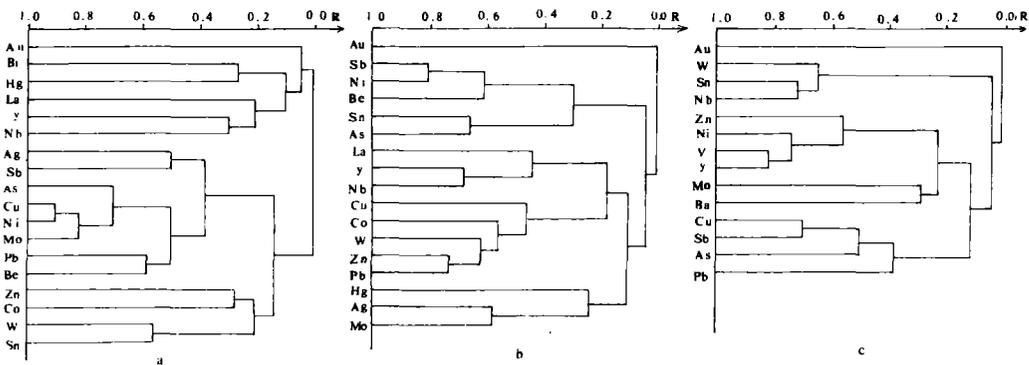
以探讨不含金地层中金与其它微量元素的元素组合为目的,本文对横水冲、高桥头和单板坑三个小区内的震旦系地层进行了 R 型聚类分析<sup>[7]</sup>(图 3)。从图 3 中可得出如下几点结论:a、金与所有其它元素的关系均不密切,说明这些地层中缺少金矿化元素组合;b、元素分组十分混乱,没有一个固定的、特有的元素组合。上述结论与金对其它微量元素的逐步回归分析所得出



图例说明:a-高桥头 b-横水冲 c-单板坑

图 2 清英地区震旦系不含金地层中金金的分布型式(f(%)—ppb 频率分布;f(%)—Lgppb 对数频率分布)

Fig. 2 Au distribution histograms of nonauriferous Sinian strata in Qingyuan-Yingde area



图例说明:a-横水冲 b-高桥头 c-单板坑

图 3 震旦系不含金地层中微量元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 3 R-cluster analysis of microelements of nonauriferous Sinian strata.

的结论是一致的。

为了更好地提取金与其它元素组合所反映的矿化信息,对上述三个小区内的震旦系地层进行了 R 型主因子分析<sup>[7]</sup>。利用正交因子载荷矩阵,在因子载荷大于 0.300 的水平上提取主因

子信息(表7)。从表7可以看出,控制地层中金分布和其它微量元素的分布的地质作用均各自独立,Au的分布几乎是一个完全独立的地质因素,在其因子轴上,其它元素的载荷均很小,说明地层中金的分布是一种不规则的分散态。同时,纵观整个不含金地层,元素组合所反映的地质信息极其混乱,几乎提取不出一个完整的地质作用过程。

表7 震旦系不含金地层微量元素R型因子分析结果表

Table 7 R-factor analysis results of microelements of nonauriferous Sinian strata

| 地点  | 项目     | F <sub>1</sub>     | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub>   | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | 样品数 |
|-----|--------|--------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-----|
| 横水冲 | 累计方差贡献 | 0.200              | 0.340          | 0.422            | 0.504          | 0.580          | 50  |
|     | 元素组合   | La, Co             | Ag, w          | Nb, Cr           | Bi, La         | Au             |     |
| 单板坑 | 累计方差贡献 | 0.199              | 0.394          | 0.602            | 0.707          | 0.780          | 55  |
|     | 元素组合   | Cu, As, Sb, Ba, Ni | Zn, w, Sn, Nb  | Zn, Cu, Ni, V, Y | Mo, Ba         | Au             |     |
| 高桥头 | 累计方差贡献 | 0.223              | 0.327          | 0.455            | 0.558          | 0.659          | 243 |
|     | 元素组合   | Zn, Y, Ag, Hg      | Sn, Cu, Zn     | Ag, Hg, Cu       | As, Y          | Au, Ni         |     |

注:在因子载荷大于0.30的水平上提取元素组合;下同

### 3 震旦系含金地层的地球化学特征

为了研究清英地区震旦系含金地层的地球化学特征,本文选择了新洲金矿床(包括新洲西部碎裂钠长石岩型金矿床)的容矿地层——新洲小区的震旦系地层,以及桐油坪金矿点的赋矿地层——桐同坪小区震旦系地层作为研究对象,分别对其进行了系统的岩石采样,分析测试了金及有关微量元素的丰度。

#### 3.1 地层中金及有关微量元素的丰度

表8 清英地区震旦系含金地层的微量元素平均含量(ppm)

Table 8 The average contents of microelements of auriferous Sinian strata in Qingyuan-Yingde area (ppm)

| 地点            | 项目   | Au (ppb) | Ag (ppb) | As    | Sb    | Bi    | Hg (ppb) | w    | Cu   | Pb   | Zn    | Mo   | Co   | Ni    | Y    | 样品个数 |
|---------------|------|----------|----------|-------|-------|-------|----------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 新洲            | 平均值  | 19.43    | 124.1    | 52.50 | 11.09 | 0.45  | 106.5    | 4.05 | 62.8 | 31.6 | 135.4 | 1.25 | 13   | 32.90 | 48   | 45   |
|               | 浓集系数 | 4.52     | 1.77     | 30.88 | 22.18 | 50    | 1.28     | 3.12 | 1.34 | 1.98 | 1.63  | 1.14 | 0.72 | 0.57  | 1.66 |      |
| 桐油坪           | 平均值  | 17.2     | 119.2    | 48.39 | 11.46 | 0.40  | 170.0    | 3.90 | 77.6 | 37.2 | 200.8 | 0.97 | 12.4 | 39.21 | 43   | 41   |
|               | 浓集系数 | 4.0      | 1.70     | 28.46 | 22.92 | 44.44 | 2.05     | 3    | 1.65 | 2.33 | 2.42  | 0.88 | 0.69 | 0.68  | 1.48 |      |
| 地壳丰度(维氏,1962) |      | 4.3      | 70       | 1.7   | 0.5   | 0.009 | 83       | 1.3  | 47   | 16   | 83    | 1.1  | 18   | 58    | 29   |      |

从表8来看,震旦系含金地层中金的含量很高(接近20ppb)。从表9来看,石英二云母片岩

中金含量最高(达 24.21ppb)、石英岩中最低(11.72ppb),但均大大超过区域地层的金含量(3.52ppb),说明这些地层经历了大规模的金富集过程。其中,Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg、W、Cu、Pb、Zn、Y 等的浓集系数大于 1,均属富集型;Co、Ni 的浓集系数小于 1,属贫化型;而 Mo 则变化不大。

同时,与清英地区区域震旦系地层(表 1)进行对比,矿化地层中的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg 等元素属强烈迁入或弱迁入元素,Bi、W 迁出,而 Co、Ni 则变化不大。不难看出,含金地层中的迁入元素、迁出元素及迁移变化不大元素(表 8)分别与不含金地层的迁出元素、迁入元素及变化不大元素基本一致(表 4),说明含金地层中的矿化元素组合基本上来源于震旦系地层本身。

### 3.2 地层中金的地球化学特征值

清英地区含金地层中金的地球化学特征值比较一致(表 9、表 10)与震旦系不含金地层则有显著的差别(对比表 5 和表 6)。反映地层中金总体含量水平的算术平均值  $X_a$  明显偏离反映集中含量水平的几何平均值  $X_g$ ,  $X_g/X_a$  较小( $\leq 0.43$ ),而变异系数则很大( $\geq 19.8\%$ )。说明金在地层中的含量起伏波动很大,分布很不均匀。说明了金在历次地质作用过程中发生了显著的选择性富集。

表 9 震旦系含金地层中金含量的地球化学特征值(ppb)

Table 9 The geochemical characteristic values of Au content of auriferous Sinian strata (ppb)

| 岩性      | 特征值 | $X_a$ | $X_g$ | $X_g/X_a$ | $\sigma$ | $C_v(\%)$ | 最大含量  | 最小含量 | 样品数 |
|---------|-----|-------|-------|-----------|----------|-----------|-------|------|-----|
| 石英二云母片岩 |     | 24.21 | 6.3   | 0.26      | 56.18    | 232.18    | 158.0 | 7.0  | 35  |
| 二云母石英片岩 |     | 19.07 | 6.87  | 0.35      | 38.71    | 203.84    | 125.0 | 3.0  | 30  |
| 石英岩     |     | 11.72 | 5.02  | 0.43      | 23.40    | 197.80    | 45.0  | 4.0  | 31  |

表 10 震旦系含金地层中金的地球化学特征值

Table 10 The geochemical characteristic values of Au of auriferous Sinian strata

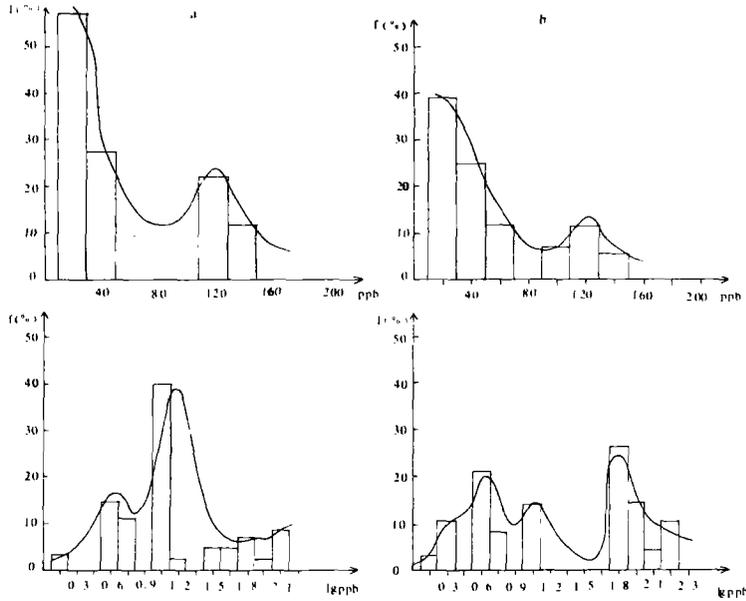
| 地点  | $X_g$ | $X_a$ | $X_g/X_a$ | $\sigma$ | $C_v(\%)$ | 样品数 |
|-----|-------|-------|-----------|----------|-----------|-----|
| 新洲  | 7.02  | 19.43 | 0.361     | 40.40    | 207.95    | 45  |
| 桐油坪 | 6.7   | 17.2  | 0.389     | 35.80    | 208.14    | 41  |

### 3.3 地层中金及有关微量元素的分布型式

清英地区震旦系含金地层中金的分布型式(图 4),无论是含量分布还是对数分布,均与不含金地层(图 2)有显著的差别。从图 4 可以看出震旦系含金地层中金的含量分布为多峰偏态且均为正偏;同时,对数分布也为多峰偏态。说明这些地层中的金是由多期非均匀地质作用过程叠加的结果。

### 3.4 地层中金的矿物学占位

地层中金的丰度高,说明它具有潜在的提供金的能力,但是决定金矿化的重要因素,却是



说明: a 新洲 b 桐油坪

图4 清英地区震旦系含金地层中金的分布形式( $f(\%)$ -ppb 频率分布; $f(\%)$ -Lgppb 对数频率分布)。

Fig. 4 Au distribution histograms of auriferous Sinian strata in Qingyuan-Yingde area

金的矿物学占位。在新洲金矿区的震旦系云母石英片岩中,原生的黄铁矿和次生的黄铁矿(即同矿化期的)紧密伴生<sup>①</sup>,呈浸染状,局部呈微脉状(主要是次生的)分布,平均含量为7%±,最高可达15%。两种黄铁矿的(混合)平均金含量较高,达3.21~5.6ppm(表11),而作为岩石主要成分的石英和云母金含量则很低( $0.12 \times 10^{-1} \sim 0.28 \times 10^{-1}$ ppm),全岩金含量则达0.081~0.37ppm。同时,该区三种类型金矿床的金都主要赋存在黄铁矿之中,呈裂隙金和包裹金形式存在<sup>②[5]</sup>。但是,在横水冲小区内的不含金震旦系云母石英片岩中,一般只发育原生黄铁矿<sup>③</sup>,含量较低,约3~5%,黄铁矿主要呈浸染状分布,金含量只为1.35ppm,自然金主要分布于黄铁矿裂隙,颗粒间隙之中或被黄铁矿包裹;而岩石中石英、云母的金含量(分别为 $0.10 \times 10^{-1}$ ppm和 $0.80 \times 10^{-1}$ ppm)则与新洲金矿区含金地层类似。因此可以认为,在同推覆时期,金主要从含金地层的黄铁矿中分离出来,进入动力分异热液之中并迁移<sup>④</sup>,最后与黄铁矿一起沉淀,富集在金矿体及其围岩震旦系含金地层之中<sup>⑤</sup>。因为黄铁矿中的裂隙金和包裹金均属易释放金,

① 彭少梅,粤北新洲金矿床地质特征及其成因,《矿产与地质》,1990,特刊。

② 彭少梅,粤北新洲金矿床的地质特征及其成因,《矿产与地质》,1990,特刊。

③ 彭少梅,何绍勋,段喜瑞,粤北清远——英德地区震旦系乐昌峡群中金等微量元素的分布。《中南矿冶学院学报》,第5期,1991,待刊。

④ 彭少梅,粤北新洲推覆构造同推覆期岩石体变与金矿化的关系,《地质学报》,1990,待刊。

⑤ 彭少梅,粤北新洲推覆构造同推覆期岩石体变与金矿化的关系,《地质学报》,1990,特刊。

因此,清英地区震旦系含金地层中易释放金的比例要比不含金地层高得多。

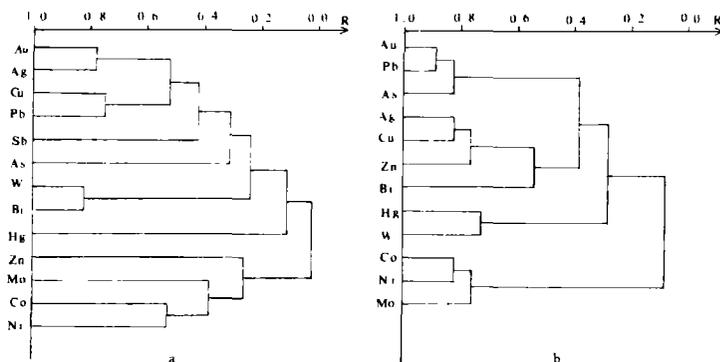
表 11 震旦系含金地层中单矿物的含金量(ppm)

Table 11 Au contents of individual minerals in auriferous Sinian strata(ppm)

| 岩石 \ 矿物  | 石英                    | 黄铁矿   | 毒砂    | 绢云母                   | 磷灰石                   | 全岩    |
|----------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 糜棱岩      | 15.06                 | 38.65 | 13.81 |                       |                       | 0.78  |
| 近矿云母石英片岩 | $0.28 \times 10^{-1}$ | 3.21  |       | $0.13 \times 10^{-1}$ | $0.14 \times 10^{-1}$ | 0.37  |
| 远矿云母石英片岩 | $0.12 \times 10^{-1}$ | 5.61  |       |                       |                       | 0.081 |

(据杨开渠,1990)

### 3.5 地层中金及有关元素的组合特征



图例说明:a-新洲 b-桐油坪

图 5 震旦系含金地层中微量元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 5 R-cluster analysis of microelements of auriferous Sinian strata.

将新洲金矿区和桐油坪金矿化区的震旦系地层样品的分析数据,进行 R 型点群分析(图 5)。与震旦系不含金地层的明显差别在于,含金地层中金与其它成矿元素组成高相关水平的、固定的元素组合。虽然新洲(图 5a)和桐油坪(图 5b)的元素组合水平有些差异,但有共同的规律性,元素可分为三个组合:a、Au-Ag-Cu-Pb-Sb-As;b、W-Bi-Hg;c、Zn-Co-Mo-Ni。第一个组合为金矿化元素组合,并与清英地区震旦系不含金地层中强烈迁出元素组合及矿化地层中强烈迁入元素组合基本一致,第二个元素组合可视为金矿化晚期阶段的矿化元素组合;第三个元素组合与第一、第二元素组合不密切,且与清英地区矿化地层中弱迁出及变化不大的元素组合一致,推断其可能为围岩中的微量元素组合。

表 12 为震旦系矿化地层微量元素数据 R 型因子分析的正交因子载荷矩阵、在因子载荷大于 0.30 的水平上的元素组合和方差贡献。因  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$  五个主因子的方差总贡献达

70%±,故可得综合的五组关联: $A_1$ —Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb; $A_2$ —Co、Ni、Mo、W; $A_3$ —Hg、Bi、Mo、W、Sb; $A_4$ —Ag、W、Bi; $A_5$ —Au、Cu、Pb、Zn。其地质意义如下: $F_1$ 反映金—多金属硫化物矿化; $F_2$ 反映原岩的微量元素组分; $F_3$ 为晚期阶段的矿化活动; $F_4$ 意义不清; $F_5$ 为金—铅、锌硫化物矿化。比较震旦系不含金地层而言,矿化地层的主因子具有清晰的地质意义。

表 12 震旦系含金地层微量元素 R 型因子分析结果表

Fig. 12 R-factor analysis results of microelements of auriferous Sinian strata

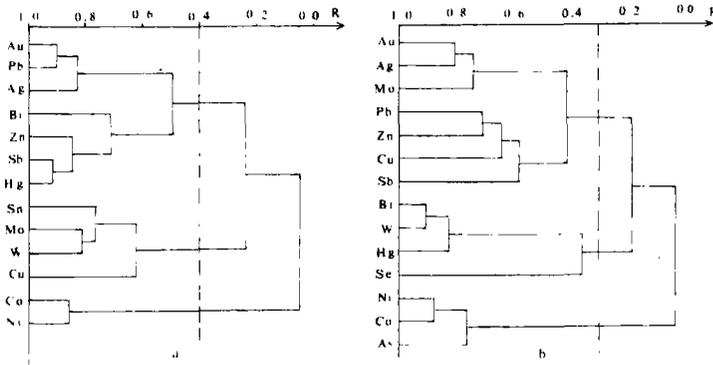
| 地 点 | 项 目    | $F_1$                 | $F_2$    | $F_3$    | $F_4$   | $F_5$       | 样品数 |
|-----|--------|-----------------------|----------|----------|---------|-------------|-----|
| 新 洲 | 累计方差贡献 | 0.275                 | 0.395    | 0.536    | 0.643   | 0.733       | 45  |
|     | 元素组合   | Au、Ag、As<br>Ni、Cu、Pb  | Mo、Co、Ni | Hg、Mo、W  | Ag、W、Bi | Au、Cu、Pb、Zn |     |
| 桐油坪 | 累计方差贡献 | 0.294                 | 0.347    | 0.471    | 0.575   | 0.660       | 41  |
|     | 元素组合   | Au、Ag、Cu、<br>Pb、As、Sb | Co、Ni、W  | Hg、Bi、Sb | Bi      | Au、Pb、Zn    |     |

#### 4 清英地区不同矿化类型金矿床的矿化元素组合

清英地区金的矿化类型分为含金碎裂石英脉型、含金糜棱岩型和含金碎裂钠长石岩型三大类。因前两类在空间上密切共生,矿化时期前后相继,且具有相同的成矿物质来源<sup>[2,5]</sup>,因而进一步将其归并为含金糜棱岩—碎裂石英脉型。含金糜棱岩—碎裂石英脉型所选择的研究对象为新洲金矿床 I—III 号矿脉,系统地取其矿石样 29 个。含金碎裂钠长石岩型所选择的研究对象为新洲外围风门坳、大狗古矿体,系统地取其矿石样 39 个。然后将这些样品进行金及有关微量元素含量的测试分析。

将上述分析数据进行 R 型点群分析(图 6),虽然含金糜棱岩—碎裂石英脉型和含金碎裂钠长石岩型的元素组合特征有些差异,但可提取出共同的规律性:a、相关性很强的矿化元素组合,前者为 Au—Pb—Ag—Bi—Zn—Sb—Hg,后者为 Au—Ag—Mo—Pb—Zn—Cu—Sb,两者是基本一致的;b、反映矿化后期阶段的矿化元素组合,前者为 Sn—Mo—W—Cu,后者为 Se—Hg—W—Bi;c、反映伴生物质组分的元素组合,前者为 Co—Ni,后者为 Co—Ni—As,也基本上一致。

与清英地区震旦系含金地层的元素组合特征(图 5)作对比,不难看出,不管金矿化类型如何,两者的微量元素组合尤其是金矿化元素组合是基本相同的,Au 与 Ag、Pb、Cu、Zn、Sb 等成矿元素均具有很强的相关性。这就说明,地层中金矿化发生的同时,必然会有一些性质相近的元素随之富集,并同金保持密切的关系。同时,这一过程必将在地层中留下鲜明的烙印<sup>[8]</sup>。利用上述微量元素测试数据进行 R 型因子分析,在正交因子载荷矩阵中因子载荷绝对值  $\geq 0.30$  的水平上提取元素组合和方差贡献(表 13)。从表 13 来看,含金糜棱岩—碎裂石英脉型的  $F_1 \rightarrow F_5$  五个主因子的方差总贡献达 84%,其反映的地质作用过程甚为清楚: $F_1$ (元素关联为 Au、Ag、Pb、Sb、Bi、Sn)代表金—多金属硫化物矿化阶段; $F_2$ (元素关联为 Ag、Cu、Mo、As)代表不发生金矿化的热液活动; $F_3$ (元素关联为 Sn、La、Y、Nb)为稀土矿化活动; $F_4$ (元素关联为 W、Sn、Mo)代



图例说明:a-含金糜棱岩—碎裂石英脉型 b-含金碎裂钠长石岩型

图 6 清英地区不同类型金矿床的微量元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 6 R-cluster analysis of microelements of different types of gold deposit in Qingyuan-Yingde area.

表矿化早期的高温硫化物阶段;F<sub>5</sub>(元素关联为 Co、Ni)代表伴生元素组合。这一总体的地质作用过程与震旦系含金地层微量元素所反映(表 12)的较为相似。

表 13 清英地区不同类型金矿床的微量元素 R 型因子分析结果

Table 13 P-factor analysis results of microelements of different types of gold deposit in Qingyuan-Yingde area

| 矿化类型       | 项目     | F <sub>1</sub>    | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | 样品个数 |
|------------|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| 含金糜棱岩—石英脉型 | 累计方差贡献 | 0.334             | 0.482          | 0.642          | 0.753          | 0.840          | 39   |
|            | 元素组合   | Au、Ag、Pb、Sb、Bi、Sn | Ag、Cu、Mo、As    | Sn、La、Y、Nb     | W、Mo、Sn        | Co、Ni          |      |
| 含金碎裂钠长石岩型  | 累计方差贡献 | 0.151             | 0.275          | 0.395          | 0.486          | 0.599          | 29   |
|            | 元素组合   | Au、Ag、Pb、Zn、Cu    | Hg、Sb、Mo       | Se、Sn          | Hg、W、Bi、Se     | Co、Ni、As       |      |

含金碎裂钠长石岩型元素组合所提取的地质因素与含金石英脉—糜棱岩型有一定程度的一致性,但显得较零乱模糊,因子方差贡献较小,说明其形成过程更复杂、成矿物质有更多的来源。

## 5 结论

通过上述清英地区震旦系含金和不含金地层地球化学特征的系统综合分析和对比,可以得出以下 7 点结论,并可视为清英地区震旦系变质地层含金性评价的 7 条地球化学准则:

a、虽然地层中金丰度的高低不是决定金矿化的唯一因素,但不可否认,较高的金丰度是产

生金矿化的有利因素。当地层中的金呈强烈迁入状态,丰度值远远大于区域背景值(一般大于17ppb)时,为有利金矿化的地层。而地层中金呈迁出状态或变化不大,金丰度接近或小于区域背景值时,为不利金矿化地层。

b、反映地层中金分散程度的  $X_g/X_a$  比值及反映金含量起伏波动程度的变异系数  $C_v$  是判别地层是否发生金矿化的有效指标。当  $X_g/X_a$  较小(一般 $<0.4$ ),  $C_v$  较大(一般 $>200\%$ )时,则是清英地区震旦系地层有利金矿化的标志。而当  $X_g/X_a$  较大(一般 $>0.9$ ),  $C_v$  较小(一般 $<80\%$ )时,发生金矿化的可能性则很小。

c、如果地层中金的含量分布为多峰偏态(且为正偏),对数分布也为多峰偏态时,则该地层有利于金矿化产出。如果地层中金分布为正态或单调偏态,对数分布也为正态时,地层中的金矿化则很微弱。

d、地层中金的矿物学占位是决定地层金矿化的发育的主要因素。金的矿物学占位与其经历的地球化学过程密切相关,当金为迁入状态时,由于这些迁入的金与硫化物密切相关,所以其易释放金的比例是相当高的。相反,对于非含金地层,金为迁出状态,而且迁出的金为易释放金,故地层中保留下来的易释放金的比例是较低的。

e、地层中的金及有关元素关系密切,常构成一特定的元素组合,如果该元素组合同清英地区金矿床的矿化元素组合(一般表现为 Au 与 Ag、Pb、Zn、Cu、Sb、As 密切相关),一致或相似时,该地层极可能为含金地层。如果地层中金与任何其它元素均不密切,或者构成的组合零乱,与区域上金矿床的矿化元素组合不一致,则地层往往是不含金的。

f、决定地层是否发生金矿化的另一重要因素是地层所经历的地质作用总过程及其强度。如果地层中金与其它元素组合所反映的地质作用过程很清晰,且与区域上金矿床的矿化元素组合所反映的地质作用过程一致或近似时,则一般为含金地层。反之,地层发生金矿化的可能性就很小。

g、虽然,糜棱岩—碎裂石英脉型金矿床与碎裂钠长石岩型金矿床在成因、物质来源上存在差异,但其地层含金性的地球化学指标却是相似的。

由于不同地区不同地层发生金矿化的地球化学过程具有一定程度的共性,因此,清英地区震旦系地层进行含金性地球化学评价的思路和方法,对其它地区的震旦系地层乃至其它地层的含金性评价均有一定参考价值。

本文的野外工作,得到广东省地矿局 706 地质队区调分队、一分队的大力支持;706 队化验室测试分析了全部样品,本文的数据处理,是在中南工业大学地质系计算中心彭先定、谢国柱同志、706 地质队计算机室殷心淑、李敏同志的帮助下完成的。本文的构思,则得益于中南工业大学地质系何绍勋教授、段嘉瑞副教授、汪东坡博士后及周翊讲师的指导和帮助,在此,作者表示衷心感谢。

### 参考文献

- 1 徐绍雄、高艳君,广东新洲金矿流体包裹体和稳定同位素研究。地质论评,36(3)1990,200~209
- 2 杨开渠,构造古应力估算与金的富集,广东地质,5(1)1990,31~40

- 3 王安建,金矿源岩研究与判定.地质找矿论丛,1(3)1986,29~37
- 4 彭少梅、段嘉瑞、何绍勋、伍广宇、张奋生、陈思祥,粤北金矿勘探的新进展.地质与勘探,4(26)1990,22
- 5 汪东坡,金丰度同金矿化间的潜在关系,桂林冶金地质学院学报,9(3)1989,327~333
- 6 王学仁,地质数据的多变量统计分析,北京,科学出版社,1982
- 7 Boyle R W.《金地球化学及金矿床》(马万钧等译,1984),地质出版社,1979

## THE GEOCHEMICAL CRITERIA TO DISCRIMINATE THE Au-BEARING PROPERTY OF METAMORPHIC SINIAN STRATA IN QINGYUAN-YINGDE AREA NORTHERN GUANGDONG PROVINCE

*Peng Shaomei*

*Wu Guangyu Zhang Fensheng Xiao Guangming*

*(Department of Geology, Central South University of Technology, Changsha)*

*(No. 706 Geological Party of Bureau of Geology and Mineral  
Resources of Guangdong Province, Shaoguan)*

### Abstract

It is studied in detail in this paper that the contents and the association features of Au and other microelements, the distribution types, geochemical characterized values of Au and its distributions in minerals in the auriferous and nonauriferous metamorphic Sinian strata in Qingyuan-Yingde area, Northern Guangdong Province. Then, having compared the metallogenic element associations of the Sinian strata with those of the three types of gold deposit in the auriferous Sinian strata, the authors propose seven geochemical criteria to discriminate the Au-bearing property of Sinian strata in the area. Thus, the Sinian strata are auriferous when in them (1) Au is strongly concentrated and Au-abundance is high. (2) the ratio  $X_g-S_a$  between the geometric mean value and the arithmetic mean value of Au content is relatively low and the ratio  $C_v$  between the standard deviation and the arithmetic mean value is relatively high. (3) the histograms of Au-content are multipeaked and deviate from normal distribution. At the same time, the histograms of logarithm of Au-content are also multipeaked and deviate from normal distribution. (4) the proportion of easily-released Au is relatively high. (5) element associations are the same as or similar to the metallogenic element associations of the gold deposits in the area. (6) the geological history shown by element associations is the same as or similar to that shown by the metallogenic element associations of the gold deposits in the area. Then on the contrary, the Sinian strata are nonauriferous.