中国科学(B辑)
第25卷 第10期 SCIENCE IN CHINA (Series B) 1995年10月

# 华南碳质岩系层控金矿的有机地球化学特征和成因*

胡 凯 刘英俊 王鹤年 张景荣
(南京大学地球科学系，南京 210093)
贾蓉芬
(中国科学院广州地球化学研究所，广州 510640)

**摘要** 用有机地球化学方法研究了华南3个重要的碳质岩系含金建造(赣东北中元古界双桥山群、桂东下寒统水口群、湘东泥盆系佘田桥组)及有关层控金矿(金山金矿、龙水金矿、石峡金矿)中有机质的特征．研究结果表明，华南碳质岩系岩石中有机碳的平均含量变化在0.15%～1.56%之间．有机质的演化程度高，沥青和石墨是构成岩石中主要的有机质显微组分．碳质岩系含金建造中金与有机碳属同生沉积，有机碳对含金建造形成的地球化学环境起了一定的控制作用．华南碳质岩系层控金矿的形成与有机质的沉积、热演化史有成因联系．

**关键词** 碳质岩系 层控金矿 有机质 干酪根 有机地球化学

华南地区广泛分布的层控金矿床的含矿主岩多为高碳质的板岩、千枚岩、硅质岩和碳酸盐岩等，矿体和主要储矿层位在空间上与富碳地层有密切的共生关系[1, 2]，这些富碳地层以含有较高的有机物质为显著特征．以往对层控金矿床的成因研究多注重讨论岩石中无机组分的化学性质和地球化学特征[3, 4]，而较少研究与矿物紧密共生的有机物质的性质和作用．因此，有关阐述层控金矿的成因认识和形成模式多具有局限性，特别是在许多浅变质岩系中矿体为何多集中分布于富含有机碳地层中的原因难以得到成因上的解释．

本文通过对华南地区一些重要的碳质岩系含金建造及其有关层控金矿的有机地球化学研究，着重阐述碳质岩系含金建造中有机质的分布和演化特征，并从生物-有机成矿作用的角度对碳质岩系层控金矿床的成因机制提出了一些新的认识．

## 1 华南碳质岩系含金建造的有机质特征与金矿化关系

华南地区广泛发育以基底原始含金建造为主，盖层衍生含金建造为辅的多时代含金建造序列．这些含金建造的展布和延伸基本上控制了华南大多数层控金矿床的空间分布特征[3]．

1994-12-02收稿，1995-04-03收修改稿
*国家自然科学基金、国家教育委员会留学回国人员基金和中国科学院有机地球化学国家重点实验室联合资助项目

作者选择了具代表性的赣东北中元古界双桥山群($Pt_2$)，桂东下寒武统水口群($\in_1$)和湘东泥盆系佘田桥组($D_2$)3个不同时代的重要含金建造以及与这些含金建造有关的金山金矿、龙水金矿、石峡金矿进行了系统的野外地质调查和室内有机地球化学研究.

### 1.1 含金建造有机碳分布的野外地质证据

野外的宏观观察可以明显看出，上述华南3个不同时代含金建造的主要地层剖面均不同程度地含有一定量的有机碳. 野外出露的地层中，主要类型岩石普遍呈深灰色至黑色. 在赣东北双桥山群的地层剖面上，局部地段交替出现黑色的碳质板岩夹层. 尤其是在一些构造剪切破碎带上，普遍存在石墨片岩. 桂东水口群是一套含硫化物的碳质-泥质板岩、粉砂岩和硅质岩组合的黑色岩系建造，有机碳含量高是这套黑色岩系的主要特点之一. 湘东泥盆系地层以生物屑灰岩为主，金矿体赋存层位的底部出露一层厚约8m的深灰至灰黑色富碳灰岩层. 这些碳质灰岩中还夹有数层厚约十几至几十厘米的沥青质，在局部破碎岩带地段出露有团块状的石墨层.

华南含金建造中有机碳在空间上的分布规律和产出特征不仅反映了含金建造形成过程中原始沉积的地球化学环境，同时也表明有机质在后期改造成矿过程中为参与矿化作用提供了物质基础.

### 1.2 含碳岩石中显微有机质组分类型及其分布特征

表1综合了华南3个主要碳质岩系地层中有机质显微组分的分布与产出特征. 从表中可知，华南不同时代、不同岩石组合类型的碳质岩系含金建造中有机质的分布并不均匀. 岩石中显微有机组分的产出特征也有差异，受岩相和岩性的控制作用较为明显. 无论是中元古界赣东北双桥山群和下寒武统桂东水口群碳质建造，还是中泥盆统湘东佘田桥组碳质建造，岩石中的有机质多为无一定形状，无固定结构的沥青和石墨. 沥青和石墨构成了碳质岩系含金建造地层中的主要有机质显微组分. 有机质反射率的测定表明，大部分的有机质演化程度都很高，$R^o$值的变化在2.69%～5.67%之间，达到过成熟演化阶段.

岩石中有机质的显微组分赋存状态特征显示主要有两种类型：一种是以纹层-细分散状分布于碳质千枚岩、板岩和砂岩中. 集合体多沿岩层的原始层面产出，形成纹层状和网脉状

表1 华南碳质岩系含金建造岩石中有机质显微组分的分布与产出特征

| 分布地区 | 地层层位 | 岩性组合 | $R^o$/% | 显微组分 | 有机结构 | 有机质产出特征 | 区域代表性金矿床(点) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 赣东北 | 中元古界双桥山群($Pt_2$) | 碳质千枚岩、碳质板岩、变质砂岩、硅质岩 | 4.50～5.67 | 石墨、次石墨、沥青 | 无定性 | 分布不均匀，呈分散星点状分布在岩石的层理或绕矿物边缘分布 | 金山 |
| 桂东 | 下寒武统水口群($\in_1$) | 长石石英砂岩、硅质板岩、硅质岩 | 2.69～4.21 | 次石墨、沥青 | 无定性，具各种生物碎屑和藻类残余结构 | 多为颗粒状分布，少具条带状充填于岩石裂隙中 | 龙水、桃花、古袍 |
| 湘东 | 泥盆系佘田桥组($D_2$) | 泥质灰岩、含碳硅化灰岩、含碳白云岩、粉砂岩 | 3.25～4.46 | 沥青、生物碎屑 | 均一、具较多生物残余结构 | 分布较均匀，多具棱角状，沿岩石裂隙或矿物粒间的边缘分布 | 石峡、高家坳 |

构造特征．这类有机质较好地保存了原生沉积特征，也反映出碳质岩系含金建造的原始沉积特点及演变过程．在高倍显微镜下，这类有机质多具颗粒状、棱角分明，分布于矿物颗粒之间．另一种有机质多以黄铁矿、方铅矿和黄铜矿等金属矿物共生．由于热液的改造作用，有机质多演化至次石墨或形成沥青体分布于矿物颗粒间或绕矿物边缘分布，部分沥青沿岩石裂隙充填形成条带状．这类有机质多分布于金矿化区或含矿地段，受含矿热液改造作用的影响较大，与金矿化作用的关系密切．

### 1.3　碳质建造岩石中有机碳、金的含量及其相关特征

从表 2 中可知，3 个主要碳质岩系含金建造岩石中的有机碳的平均含量变化在 0.15%～1.56% 之间，有机碳含量的众值分布在 0.20%～0.50% 范围内．然而，碳质建造不同岩石类型之间的有机碳含量有较大的差别．碳质板岩、千枚岩一般比砂岩、硅质岩和碳酸盐岩的有机碳含量高．此外，从沉积区来看，即使是相同的碎屑沉积岩类，不同沉积区岩石中有机碳含量也存在较大的差别．如桂东下寒武统水口群岩石中普遍富含有机碳，总平均值为 0.89%，个别碳质板岩有机碳含量可达 9.73%．可见，华南碳质岩系岩石中有机碳含量特征既受到岩石类型的制约，也与各沉积区的地质地球化学背景和沉积环境有关．金含量的分析数据也显示，3 个主要碳质建造各类岩石中金的平均含量范围在 $2.7\times10^{-9}$～$33.7\times10^{-9}$ 之间，高出上部地壳金含量平均值 $1.8\times10^{-9}$ 的数倍至数十倍[5]，其中赣东北双桥山群和桂东下寒武统水口群碳质建造大部分岩石样品中的金含量达 $10\times10^{-9}$ 以上．

表 2　碳质岩系含金建造有机碳、金含量特征及其相关性

| 碳质含金建造 | 岩性特征 | 有机碳 | | | 金 | | | 有机碳与金相关性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 含量范围 /% | 平均值[a] /% | 变异系数 /% | 含量范围 /$\times10^{-9}$ | 平均值 /$\times10^{-9}$ | 变异系数 /% | |
| 赣东北双桥山群 ($Pt_2$) | 碳质千枚岩 | 0.10～0.22 | 0.15(18) | 43 | 3.4～31.0 | 14.0(8) | 115 | $R=0.53$ ($N=41$, $a=0.05$) |
| | 碳质板岩 | 0.12～0.44 | 0.20(15) | | 10.0～29.0 | 18.3(9) | | |
| | 变质砂岩 | 0.09～0.17 | 0.15(8) | | 2.8～16.0 | 11.5(15) | | |
| | 硅质岩 | 0.16～0.21 | 0.19(2) | | 10.0～25.3 | 17.7(2) | | |
| 桂东水口群 ($\in_1$) | 碳质板岩 | 0.37～9.73 | 1.56(14) | 118 | 4.6～155.0 | 33.7(16) | 244 | $R=0.71$ ($N=42$, $a=0.05$) |
| | 泥质板岩 | 0.23～1.42 | 0.74(7) | | 2.4～38.0 | 12.1(20) | | |
| | 碳质粉砂岩 | 0.18～1.92 | 0.55(16) | | 1.3～68.0 | 13.2(9) | | |
| | 硅质岩 | 0.11～0.78 | 0.30(5) | | 3.0～16.6 | 6.8(4) | | |
| 湘东泥盆系佘田桥组 ($D_2$) | 泥质灰岩 | 0.15～0.45 | 0.20(9) | 32 | 1.0～12.0 | 4.4(25) | 79 | $R=0.45$ ($N=16$, $a=0.05$) |
| | 含碳硅化灰岩 | 0.12～0.35 | 0.19(3) | | 1.1～15.0 | 4.2(12) | | |
| | 含碳白云岩 | 0.15～0.39 | 0.25(3) | | 1.5～6.8 | 4.9(3) | | |
| | 粉砂岩 | 0.12～0.19 | 0.17(5) | | 0.8～3.9 | 2.7(5) | | |

a) 括号中数据为样品数

从表 2 中可知，碳质岩系含金建造中金与有机碳均有不同程度的相关特征．如桂东下寒武统水口群黑色岩系中金与有机碳的相关系数为 0.71($N=42$)，具较显著正相关．其它碳质建造中金与有机碳的相关特征是：有机碳含量高的岩石，其金的含量也高或有偏高的趋势．表现为两者的丰度值在碳质建造的垂直和水平地质剖面上具有趋向一致的同步变化规律[1]．显

1) 胡　凯．南京大学地球科学系博士学位论文，1992

然，华南各时代碳质岩系含金建造中金与有机碳的正相关特征和含量变化规律揭示了两者具有同源性，同时，有机碳对碳质岩系含金建造形成过程的地球化学环境起了一定的控制作用.

### 1.4 干酪根的有机元素组成特征

干酪根是沉积岩中的不溶有机质，主要由碳、氢、氧和少量的氮、硫元素组成. 表3是研究区内碳质岩系及有关层控金矿中干酪根的有机元素组成特征. 从表3中可知，华南各时代碳质建造及其层控金矿中的干酪根主要以高含量的碳为主，C在H, O和N的含量比例中均占90%以上. H, O和N元素的含量很低，H, O与C的原子比都很小. 显示了干酪根受热改造作用的影响大、演化程度高，一些有机杂原子官能团基本消失. 此外，不同时代碳质建造及金矿中干酪根的元素组成有所差别. 如双桥山群碳质建造及金山金矿干酪根中的碳含量最高，氧含量最低. 而湘东泥盆系含金建造中碳含量较低，氧含量较高. 干酪根中的碳含量变化随碳质建造形成时代的由老至新呈现由高至低变化，而氧含量则由低至高变化. 这种有机元素演化的差别一方面反映出碳质建造及金矿中有机质所经历的的降解作用和热液改造作用的程度不同，另一方面也可能与碳质建造的沉积地球化学环境和有机质的类型差异有关[6].

表3 含金建造及层控金矿中干酪根有机元素组成特征[a)]

| 含金建造及金矿 | 样品 | 有机元素组成 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C/% | H/% | O/% | N/% | H/C (原子比) | O/C (原子比) |
| 赣东北双桥山群，金山金矿 | ZK-41 | 92.22 (98.22) | 0.50 (0.53) | 0.89 (0.95) | 0.28 (0.30) | 0.065 | 0.007 |
| | Jd-25 | 93.59 (98.98) | 0.32 (0.34) | 0.45 (0.48) | 0.19 (0.20) | 0.040 | 0.004 |
| | ZK-16 | 95.18 (98.73) | 0.36 (0.37) | 0.62 (0.64) | 0.24 (0.25) | 0.045 | 0.005 |
| | ZK-32 | 89.16 (98.84) | 0.45 (0.50) | 0.70 (0.77) | 0.32 (0.35) | 0.060 | 0.006 |
| | ZK-23 | 87.57 (97.78) | 0.72 (0.80) | 0.89 (1.00) | 0.38 (0.42) | 0.100 | 0.008 |
| 桂东东口群，龙水金矿 | L2-6 | 76.10 (98.22) | 0.25 (0.32) | 0.78 (1.00) | 0.35 (0.45) | 0.039 | 0.008 |
| | L2-5 | 67.40 (97.77) | 0.45 (0.65) | 0.68 (0.99) | 0.41 (0.59) | 0.007 | 0.007 |
| | L2-7 | 53.84 (97.55) | 0.19 (0.34) | 0.93 (1.68) | 0.23 (0.42) | 0.013 | 0.013 |
| | Lp-11 | 80.25 (98.03) | 0.33 (0.40) | 0.81 (0.99) | 0.47 (0.57) | 0.008 | 0.008 |
| | Lp-14 | 79.81 (98.08) | 0.28 (0.34) | 0.77 (0.95) | 0.51 (0.63) | 0.007 | 0.007 |
| 湘东泥盆系佘田桥组，石峡金矿 | Sd-6 | 73.55 (92.67) | 1.45 (1.88) | 3.94 (4.96) | 0.42 (0.53) | 0.236 | 0.040 |
| | Sp-7 | 76.11 (90.76) | 1.40 (1.67) | 6.00 (7.15) | 0.35 (0.42) | 0.221 | 0.059 |
| | Sp-20b | 71.99 (94.72) | 0.93 (1.22) | 2.70 (3.50) | 0.38 (0.50) | 0.155 | 0.028 |
| | Sp-27 | 75.21 (93.45) | 1.30 (1.61) | 3.58 (4.45) | 0.39 (0.48) | 0.207 | 0.036 |
| | Sp-30 | 70.88 (91.94) | 1.49 (1.93) | 4.27 (5.54) | 0.45 (0.58) | 0.253 | 0.045 |

a) 括号中数据为归一化结果

## 2 层控金矿中可溶有机质的研究及其成矿意义

### 2.1 可溶有机质的族组成及饱和烃分布特征

表4是华南各时代碳质建造主要类型岩石和矿化样品中可溶有机质的含量及族组成分离结果，分离结果表明各时代碳质建造的岩石和矿石中可溶有机质含量普遍较低. 氯仿沥青A含量一般小于0.1 mg/g，其含量范围在$41\times10^{-6}\sim220\times10^{-6}$之间. 有机转化率在0.23%～3.33%范围内. 华南各时代碳质建造及金矿床中可溶有机质的丰度和族组成特征，既由沉积有机质热演化程度高所决定，又是高演化程度的反映.

表 4　碳质岩系含金建造与层控金矿中可溶有机质丰度及族组成

| 含金建造与金矿 | 样品 | 岩性特征 | 有机碳 C/% | 氯仿沥青 A/×10⁻⁶ | 可溶有机质组分/% | | | 有机转化率 A/C(百分含量) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 烷烃 | 芳烃 | 非烃 | |
| 赣东北 | Jd-25 | 碳质千板岩 | 1.68 | 145 | 47.59 | 14.48 | 37.93 | 0.75 |
| 双桥山 | Jd-20 | 碳质板岩 | 0.22 | 47 | 25.53 | 17.02 | 57.45 | 2.14 |
| 群,金 | ZK-21 | 含碳砂岩 | 0.18 | 60 | 38.33 | 25.00 | 36.67 | 3.33 |
| 山金矿 | ZK-41 | 碳质千枚岩 | 0.19 | 59 | 28.81 | 30.51 | 40.68 | 3.10 |
| 桂东水口群,龙水金矿 | LK2-5 | 碳质板岩 | 9.73 | 220 | 15.0 | 24.55 | 60.45 | 0.23 |
| | Lp-11 | 碳质千枚岩 | 2.07 | 66 | 36.36 | 24.24 | 39.40 | 0.32 |
| | L2-6 | 含碳粉砂岩 | 0.72 | 41 | 36.58 | 26.83 | 36.59 | 0.57 |
| | L2-7 | 碳质板岩 | 0.78 | 68 | 26.47 | 30.88 | 42.65 | 0.87 |
| 湘东泥盆系,石峡金矿 | Sp-20 | 碳质灰岩 | 0.35 | 69 | 34.78 | 18.84 | 46.38 | 0.97 |
| | Sd-12 | 白云质灰岩 | 0.22 | 66 | 28.79 | 31.82 | 34.85 | 3.00 |
| | Sd-6 | 泥质灰岩 | 0.45 | 95 | 29.47 | 36.84 | 33.68 | 2.11 |

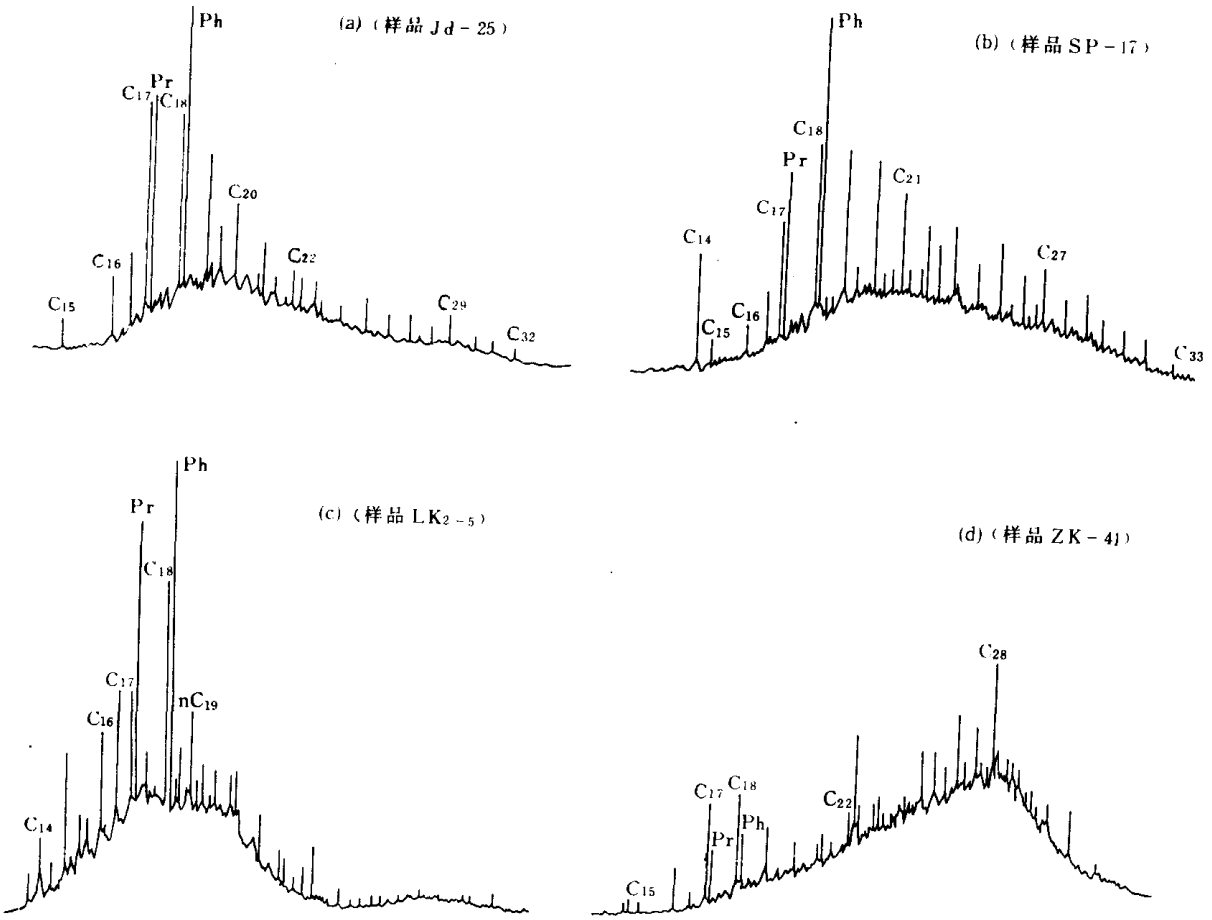



图 1　碳质岩系含金建造及金矿中非矿化与矿化样品有机质饱和烃的气相色谱图

(a),(b) 为非矿化样品(金山、石峡)；(c),(d) 为矿化样品(金山、龙水)

作者对碳质建造非矿化和矿化样品的可溶有机质进行了饱和烃气相色谱分析，结果见图 1. 从图中可以看出非矿化和矿化样品的正构烷烃具有一些明显的分布特征：(1)所有样品中的碳质分布范围较窄，非矿化样品的碳数分布范围主要在 $C_{14}$—$C_{32}$，仅少数样品延伸至 $C_{33}$—$C_{35}$；

矿化样品的碳数分布范围主要在 $C_{14}$—$C_{20}$; (2)$nC_{20}$—$nC_{28}$ 之间有较丰富的异构烷烃，表明生源中有古细菌的来源; (3)矿化样品 $>nC_{20}$ 保存很少，轻组分含量高，显示出样品经受了更高成熟作用. 这种过高成熟作用有可能与矿化过程中有机质受热液叠加、风化和降解等综合作用有关.

### 2.2 生物标志化合物组成及其意义

华南碳质岩系及其层控金矿中的有机质尽管受热演化程度高，可溶有机质含量低，但作者通过饱和烃的气相色谱和色谱-质谱分析仍在各矿区的样品中鉴定出含有异戊间二烯烷烃、萜烷、甾烷类等具有特征性的生物标志化合物[1]. 如异戊间二烯烷烃中最常见的姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)，在各样品中均较易检测出来(见图1). 无论是碳质建造未受矿化影响的样品，还是矿区内采自的矿化样品，异戊间二烯烷烃的组成都较为简单，含量较高，可明显辨认出植烷(Ph)和姥鲛烷(Pr). 表明含金建造和金矿区内的有机质具有同一来源特征. 从多数样品中具有植烷优势的特征，可反映出碳质建造沉积时和金矿沉淀时所处的还原环境特点.

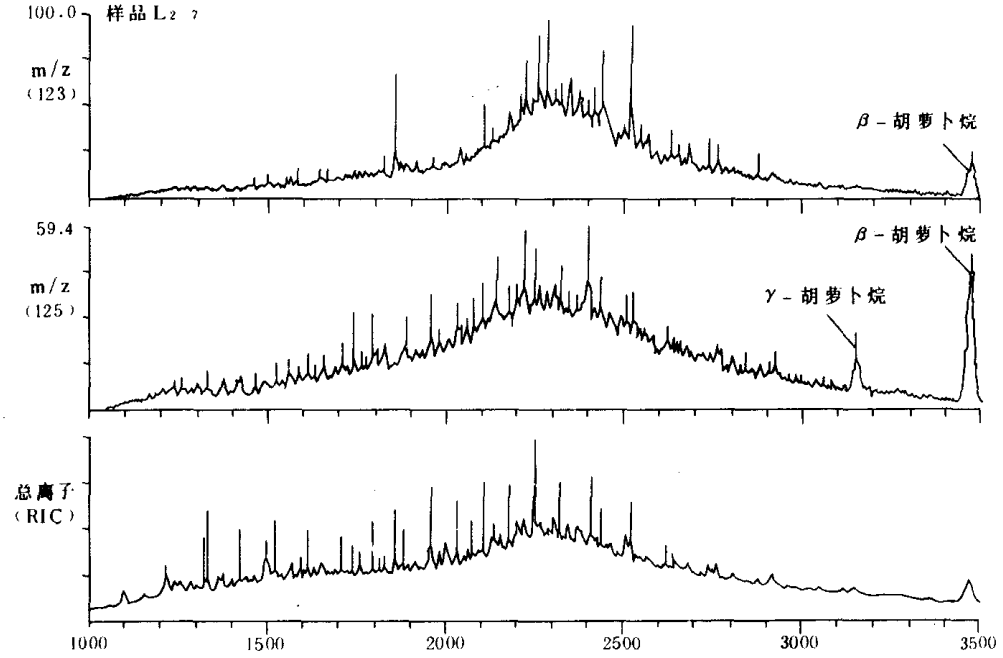



图2 龙水金矿碳质板岩样品中烷烃馏分 m/z 123, m/z 125和离子 RIC 质谱图

有意义的是，作者在研究区内的矿化样品中还检测出了 β-胡萝卜烷和 γ-胡萝卜生物标志化合物. 其中下寒武统水口群碳质板岩样品 $L_{2\text{-}7}$ 中的 β 和 γ-胡萝卜烷含量很高(图2). 胡萝卜烷类化合物是一种不稳定的化合物，主要来自于藻类，如蓝绿藻在还原咸水的沉积环境下易溶化成一定量的 β-胡萝卜烷[7]. 一般胡萝卜烷类化合物很少在成熟度高的岩石中检出，只有在咸水和厌氧细菌作用很强的还原环境下才有可能被保存下来[8]. β 和 γ-胡萝卜烷在华南碳质岩系及其层控金矿中的检出，进一步论证了矿化作用是在强还原条件下进行的.

## 3 碳质岩系含金建造及层控金矿的形成机制

### 3.1 碳质岩系含金建造的形成过程及形成条件

有机地球化学的综合研究表明，华南碳质岩系含金建造是一套以富含有机质为特征的沉

1) 见1101页脚注

积岩石建造．对这种富含有机质的含金建造形成的重要条件至少有两个：其一是有机质和金的成矿物质的来源．生物的碎片和低等动物遗体碎片在其下降沉积与埋藏过程中对海水或周围介质体系中金等成矿元素富集是含金建造中的金的重要来源[6, 9, 10]．低温热液条件下有机质富集金的实验结果证明，未成熟和低成熟度的有机质与水体介质中金发生凝聚作用的能力相当强[11]．粘土矿物是碳质岩石建造中最主要的矿物组合，粘土矿物同样也可以吸附周围介质中的金和其它金属元素，它们对碳质岩系含金建造成矿元素富集的贡献是不可忽略的．其二是沉积有机质的保存、聚集与转化的条件．沉积有机质聚集与保存条件决定于沉积物的类型、数量、沉积介质物理化学条件和生物化学条件．表层水中藻类、浮游生物发育，生产能力高，向底层水提供的沉积物数量大，有机质氧化分解消耗氧的速度快，而浅埋初期厌氧细菌还原硫酸盐的作用也促进了缺氧、富硫化氢的还原环境的形成[12, 13]．此外，大量的粘土矿物可以吸附有机质、有利于有机质沉积和保存．

### 3.2　碳质岩系层控金矿的成矿模式

碳质岩系层控金矿的形成是在碳质岩系含金建造形成后经后期地质改造作用的产物，它的分布受碳质含金建造的严格控制．作者依据华南碳质岩系层控金矿的野外地质特征和室内有机地球化学分析结果等证据，提出了碳质岩系层控金矿的成矿模式(图 3)，在这个成矿模式中，作者强调了金矿的形成与有机质富集、演化和共生的密切联系．

从图 3 中可以看出碳质岩系层控金矿的形成与有机质的演化关系可以用 3 个作用阶段来概述：(1)富碳质含金建造形成阶段：前已述及，碳质含金建造形成过程中的大部分金和其它

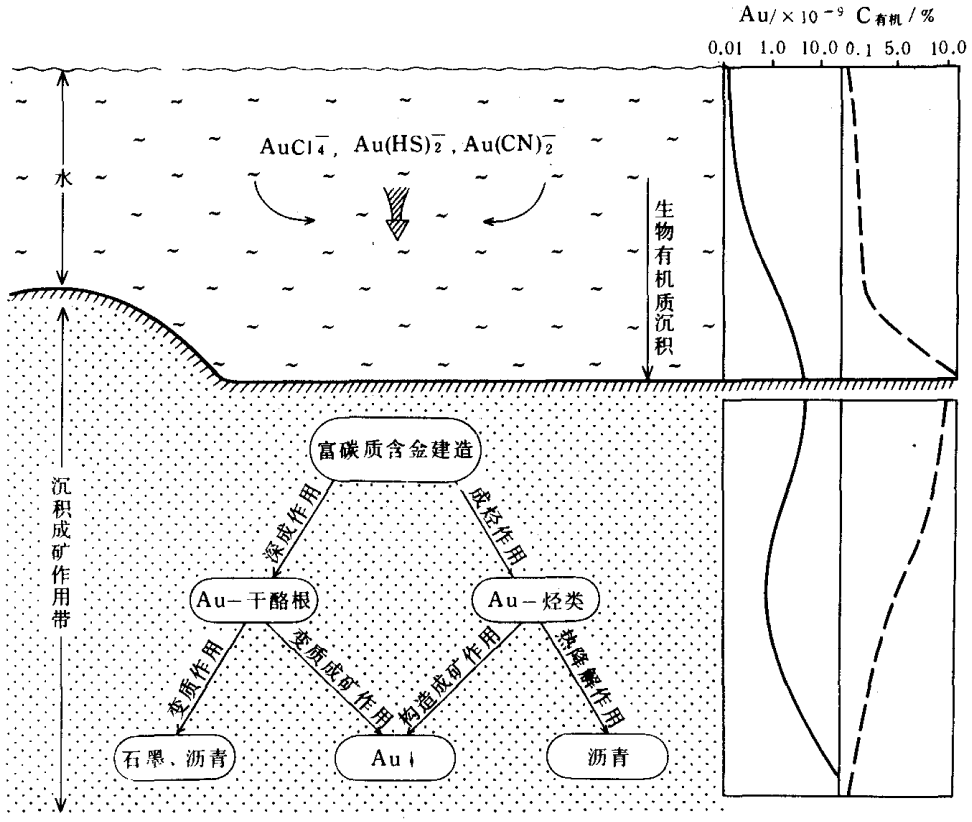



图 3　碳质岩系层控金矿形成模式

金属元素都是在沉积阶段初步聚集的. 由于沉积阶段时期的地质环境相对比较平静,有利于有机质沉积成层,这样构成了碳质含金建造中有明显特征的富含有机碳层位. 有机质在沉积作用过程中富集水溶液中金并进行同生沉积,因此,在碳质含金建造中金与有机碳的分布在空间上具有同步变化的趋势; (2)成岩改造作用阶段:这一阶段与油气生成过程中的深成作用或成烃作用是对应的. 成岩改造作用使含金建造岩石中的有机质由低成熟向成熟和过成熟方向演化. 一部分有机质受热降解生成水、二氧化碳、甲烷以及其它气态和液态烃类化合物. 另一部分则在热解的同时缩聚形成干酪根. 金在有机质演化过程中一部分与干酪根聚集一起残留原地,另有一部分可能与有机酸或烃类化合物相结合进行短距离搬运或迁移; (3)区域变质成矿阶段:随着变质作用的增强,改变了岩层中原有的地球化学平衡体系,形成一个有利于金矿沉淀的新体系. 有机质在深变质作用影响下,进一步演化成石墨和沥青残存岩石中. 构造活动和金矿热液的活动也促使部分赋存于有机质中的金随有机质演化得以释放而沉淀下来.

## 4 结论

(1)华南碳质岩系含金建造是由一套互层的板岩、千枚岩、硅质岩、变质砂岩和碳酸盐岩组成,低变质和高有机碳含量是这套岩石建造的主要地质特征.

(2)华南碳质岩系中的有机质演化程度高,沥青和石墨是构成岩石中主要的有机质显微组分. 碳质岩系含金建造中金与有机碳属同生沉积,有机碳对含金建造形成的地球化学环境起了一定的控制作用.

(3)碳质含金建造与层控金矿中的有机质具有同源性. 含金建造的形成和金矿化作用均是在较强的还原环境下进行的. 矿区内的有机质受热液叠加等作用的影响,具有更高的热演化特征.

(4)层控金矿床的形成与有机质对金的原始富集和后期热演化作用有密切的成因关系. 金矿的成矿过程经历了富碳质含金建造形成、成岩改造作用和区域变质成矿作用3个重要阶段,有机质在这3个成矿作用阶段中均起了重要的作用.

**致谢** 在野外采样过程中得到徐正榕同学和文爱国工程师的协助. 室内有机质的抽提和分离分析得到屈定创、邢福健等同志的热情帮助,作者深表谢意.

## 参 考 文 献

1 张甲忠. 碳质岩系层控金矿床成矿地质特征及找矿标志. 矿产与地质, 1993, 7(4): 258～261
2 贾蓉芬,刘德汉,傅家谟. 中国寒武-泥盆系碳酸岩建造中有机质的特征及其与金属矿床的关系. 见:中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放室研究年报(1988). 北京: 科学出版社, 1990. 192～203
3 刘英俊,马东升. 华南含金建造的地球化学特征. 地质找矿论丛, 1987, (4): 1～14
4 马东升,刘英俊. 江南金成矿带层控金矿的地球化学特征和成因研究. 中国科学, B辑, 1991, (4): 424～433
5 Taylor S R, McClennan S M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publication, 1985. 312
6 胡 凯. 有机质在华南含金建造同生含金性形成中的作用. 见:江苏省首届青年学术年会论文集(理科分册). 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 270～276

7　傅家谟，盛国英．中国主要含油气盆地沉积类型的有机地球化学特征．见：有机地球化学论文集．北京：科学出版社，1986. 1～17
8　顾永达，林明辉，盛国英等．浑源煤和乐平煤抽出物的化学组成及其地球化学特征．沉积学报，1991, 9(增刊):34～43
9　胡　凯，刘英俊，王鹤年等．华南若干重要含金建造及其金矿床的有机地球化学．南京大学学报(地球科学)，1993, 5(1): 49～57
10　胡　凯，张祖还，章邦桐等，有机质在产子坪层控铀矿床形成中的作用．见：中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放研究实验室研究年报(1987)．北京：科学出版社，1988. 161～178
11　胡　凯，刘英俊，贾蓉芬等．低温热液条件下有机质富集金机理的实验研究．中国科学，B 辑，1993, 23(8): 880～888
12　Mossman D J. Stratiform gold occurrences of the witwatersrad-type in the huronian supergroup outraio. Canada S T Geol, 1987, 90: 1～15
13　Disnar J R, Sureau J F. Organic matter in ore genesis: progress and perspectives. Advances in Organic Geochemistry 1989. Org Geochem, 1990, 16(1—3): 577～599