

# 扬子地块西北缘、西南缘卡林型 金矿的干酪根与金矿化关系\*

## Correlation between Kerogen and Gold Mineralization of Carlin-type Gold Deposits in Northwest and Southwest Margin of Yangtse Plate

谭运金

Tan Yunjin

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院 桂林市三里店 541004)

(Research Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Sanlidian, Guilin, Guangxi, 541004)

**摘要** 根据干酪根的元素组成及其他的矿床地质、地球化学特征确定, 扬子地块西北缘、西南缘的卡林型金矿床的干酪根属腐泥型干酪根。干酪根的元素组成和成熟度是判别大型卡林型金矿床和小型卡林型金矿床或矿点的重要标志。大型卡林型金矿床的干酪根, 碳的平均含量为 42.35%, 氢的平均含量为 1.69%, 氧的平均含量为 5.03%, 小型卡林型金矿床或矿点的干酪根, 碳的平均含量为 77.23%, 氢的平均含量为 1.22%, 氧的平均含量为 4.53%。大型卡林型金矿床的干酪根成熟度特征, 反映其热成熟演化经历过成矿流体的脱碳作用和内生氧化作用。

**关键词** 扬子地块西北缘、西南缘 干酪根的元素组成和成熟度 卡林型金矿床

**Abstract** Based on element composition of kerogen and other geologic-geochemical characteristics of deposit, it may define that, the kerogen of carlin-type gold deposit in northwest and southwest margin of Yangtse plate is belong to sapropel type one. The element composition and mature of kerogen is an important distinguish mark between great and small scale carlin-type gold deposits. In the great scale carlin-type gold, deposit, average value C, H and O of kerogen are 42.35%, 1.69% and 5.03% respectively, while in the small scale carlin-type gold deposit, average value C, H and O of kerogen are 77.23%, 1.22% and 4.53% respectively. The mature of kerogen in great scale carlin-type gold deposit reflected that, its mature process has undergone the decarbonation and endogenous oxidation of ore-formed fluid.

**Key words** northwest and southwest margin of Yangtse plate, element composition and mature of kerogen, carlin-type gold deposits

中图法分类号 P 618.51

扬子地块西北缘、西南缘是中国卡林型金矿床的主要产区。这类金矿床的含金建造、矿化主岩及金矿石以富含有机质为特征。研究工作表明, 卡林型金矿床的有机质由可溶抽提物和难溶残渣组成<sup>[1]</sup>。可溶抽提物的含量低, 一般为 0.0107%~0.0004%, 主要是氯仿沥青“A”。难溶残渣主要是干酪根, 干酪根是原始有机母质的演化产物, 是矿石中金的重要载体之

一, 干酪根的元素组成特点和热成熟演化与金矿化的类型及矿床规模有关。因此, 研究卡林型金矿床的干酪根元素组成和热成熟度, 对于阐明这类金矿床的成矿机理和找矿评价, 具有重要的现实意义。

### 1 干酪根的元素组成特征

表 1 列出了扬子地场西北缘、西南缘卡林型金矿床的干酪根元素组成资料, 同时列出了油田和华南地区某些含金建造的干酪根元素组成。根据这些资料, 作者提出以下认识:

1996-07-16收稿, 1997-04-08修回。

\* 国家攀登计划项目的部分研究成果。

表 1 扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床和华南某些含金建造及油田干酪根的元素组成

Table 1 The element composition of kerogens from both carlin-type gold deposits in north-west and south-west margin of Yangtze plate and some gold-bearing formations and oil fields of south China

产地 Occurrence	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	H/C	O/C	资料来源 Reference
小型金矿床或矿点 Small gold deposits or mineralization	六午 Liuwu	74.85	0.71	3.23	0.39	0.113	本研究项目 author
	庆坪 Qingping	79.96	2.18	9.11	0.84	0.325	
	皎贯 Jiaoguan	72.58	0.88	3.21	0.52	0.144	
	蛮结 Manjie	83.61	1.13	2.54	0.59	0.161	
	平均值 Mean value	75.13	1.18	4.56	0.60	0.187	
大型金矿床 Great gold deposits	金牙 Jingya	77.23	1.22	4.53	0.59	0.186	0.044
		22.79	0.71	6.31	0.60	0.371	0.208
		17.51	0.61	4.18	0.59	0.415	0.179
		20.51	0.50	3.02	<0.3	0.290	0.111
	高龙 Gaolong	35.77	1.07	6.10	0.71	0.359	0.128
		34.24	0.51	3.88	0.34	0.189	0.09
	烂泥沟 Lannigou	23.83	0.43	3.03	<0.3	0.215	0.095
		60.69	2.53	4.82	1.15	0.497	0.060
	东北寨 Dongbeizhai	74.60	2.43	4.94	0.87	0.388	0.050
		43.99	2.73	7.92	0.98	0.740	0.135
		60.87	3.03	6.33	1.45	0.593	0.078
		71.90	2.15	4.95	0.91	0.356	0.052
		31.26	1.84	5.76	0.72	0.701	0.138
		19.18	0.68	3.10	0.32	0.423	0.122
		75.75	4.49	6.09	1.79	0.706	0.060
平均值 Mean value	42.35	1.69	5.03	0.76	0.446	0.108	
油田 Oil field	下辽河 Lowerliao river	66.78	6.04	13.44	2.41	1.06	魏明秀 Wei Minxiu 1992
	格林河 Gree river	77.39	10.26	9.25	3.10	1.59	
	托森 Tosen	69.81	7.63	19.80	2.76	1.31	
	曼维尔 Manvil	73.27	4.91	20.03	1.78	0.81	
含金建造 Gold-bearing formation	双桥山群 Shuang-qiaoshan group	91.54	0.47	0.71	0.28	0.062	胡凯 Hu Kai 1992
	水口群 Shuikou group	71.48	0.30	0.79	0.39	0.015	
	湘东泥盆系 Devonian strata of east Hunan	73.55	1.31	4.10	0.40	0.214	

干酪根的化学组成,能很好地区分沉积岩中有机母质类型及其形成环境<sup>[2]</sup>。文献 [2]将沉积岩中的干酪根分为 4个类型: I 型干酪根主要是来自藻类的类脂化合物,或是来自经过微生物作用的富含类脂化合物的有机质,它们是在缺氧的湖泊和一些独特的海相环境中形成的,其元素组成特点是, H/C比值高 ( $\geq 1.5$ ), O/C比值低 ( $< 0.1$ ); II 型干酪根与还原环境中沉积的海相有机质有关,其元素组成特征表现为 H/C比值较高,而 O/C比值较低; III型干酪根的原始有机母质主要来自陆源高等植物,其元素组成特征是 H/C比值低, O/C比值高; IV型干酪根的原始有机母质来源复杂,其元素组成特征表现为 O/C比值异常高,而 H/C比值异常低。

由于干酪根的热成熟演化程度较高,单凭其元素组成资料,难以判断其类型的归属。必须结合其地质产状及其他地质、地球化学的特点,才能较准确地判断干酪根的类型。作者认为,扬子地块西北缘、西南

缘的浊积岩型含金建造改造成的卡林型金矿床<sup>[3]</sup>,其干酪根属前述的II型干酪根,原始有机母质属还原环境中沉积的海相菌藻类生物演化成的腐泥型有机质。主要依据是: (1) 浊积岩型含金建造是在深海—半深海的还原环境中形成的,与含金建造共生的有机质是还原环境中沉积的海相有机质; (2) 据川西北地质大队报道,在东北寨金矿床的黑色板岩和金矿石中,发现了大量的藻类化石残迹;在抽提的沥青物质中,饱和烃/芳香烃的比值为 5.76 表明该金矿床的有机质主要来源于低等菌藻类生物; (3) X射线衍射分析表明,不同来源的原始有机母质形成的干酪根,在其热成熟演化中,具有不同的结构演化模式。扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床的干酪根,其结构演化模式的投影点聚集在II型干酪根演化曲线附近; (4) 不同类型的干酪根,其碳的稳定同位素组成不同。I型干酪根的  $\delta^{13}C$ 值小于  $-27.0\%$ , II型干酪根  $\delta^{13}C$ 值为  $-24.5\% \sim -27.0\%$ , III型干酪根的  $\delta^{13}C$ 值大于

- 24.5‰<sup>[4]</sup>。烂泥沟金矿床的干酪根,其 $\delta^{13}C$ 值为-24.83‰~-27.15‰,平均值为-25.87‰。东北寨金矿床的干酪根,其 $\delta^{13}C$ 值为-24.88‰~-26.38‰,平均值为-25.63‰。这些资料表明,烂泥沟、东北寨等金矿床的干酪根属II型干酪根;(5)扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床的干酪根,其H/C比值为0.113~0.740,平均值为0.378,O/C比值为0.023~0.208,平均值为0.088与前述的II型干酪根的H/C比值、O/C比值接近。

1.2 根据现有的勘探成果,将扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床划分为大型金矿床和小型金矿床或金矿点。大型金矿床的干酪根,其碳含量为17.5%~75.7%,平均值为42.3%;氢含量为0.43%~4.49%,平均值为1.69%;氧含量为3.03%~7.92%,平均值为5.03%;O/C比值为0.050~0.138,平均值为0.108;H/C比值为0.189~0.740,平均值为0.45。小型金矿床或金矿点的干酪根,其碳含量为72.58%~83.61%,平均值为77.23%;氢含量为0.71%~2.18%,平均值为1.22%;氧含量为2.54%~9.11%,平均值为4.53%;O/C比值为0.023~0.085,平均值为0.044;H/C比值为0.113~0.325,平均值为0.186。这些资料表明,金矿床的规模不同,其干酪根的元素组成特征不同。大型金矿床的干酪根,其碳含量低,氢、氧含量较高。小型金矿床或矿点的干酪根,其碳含量高,氢、氧含量较低。

1.3 对比扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床的干酪根元素组成与华南某些含金建造的干酪根元素组成,可以发现,双桥山群、水口群等含金建造的干酪根,其碳含量较高,氢、氧含量较低,H/C比值和O/C比值较低;湘东泥盆系含金建造,其干酪根的元素组成特征与扬子地块西北缘、西南缘小型卡林型金矿床或金矿点的干酪根元素组成特征相似。这些特征表明:(1)双桥山群、水口群是浅变质的陆源碎屑岩,湘东泥盆系含金建造和扬子地块西北缘、西南缘的浊积岩型含金建造是沉积岩。因此,变质程度较高的含金建造,其干酪根的碳含量较高,氢、氧含量较低;变质程度低或未变质的沉积岩含金建造,其干酪根的碳含量较低,氢、氧含量较高。(2)由双桥山群、水口群等含金建造演变成的金矿床是石英脉型金矿床和蚀变岩型金矿床(金山金矿、龙水金矿)。由湘东泥盆系含金建造和扬子地块西北缘、西南缘浊积岩型含金建造演变成的金矿床是卡林型金矿床(石峡金矿、东北寨金矿和烂泥沟金矿)。前者的干酪根,其碳含量较高,氢、氧含量较低;后者的干酪根,其碳含量较低,氢、氧含量较高。由此可见,变质程度不

同的含金建造,其干酪根的元素组成不同,孕育不同金矿床类型的含金建造,其干酪根的元素组成特征不同。

## 2 干酪根的成熟度

随产出的物理、化学和生物化学条件下的改变,干酪根的化学结构(不同的核键和官能团的相对重要性)发生相应变化,干酪根化学结构的演化称为干酪根成熟度。

干酪根的成熟度与其元素组成特征关系密切,随干酪根成熟度的升高,其碳含量升高,氢、氧含量降低。Van Krevelen设计了反映干酪根成熟度的H/C—O/C关系图(图1)。该图表明,干酪根的成熟度愈高,其H/C、O/C比值愈低。

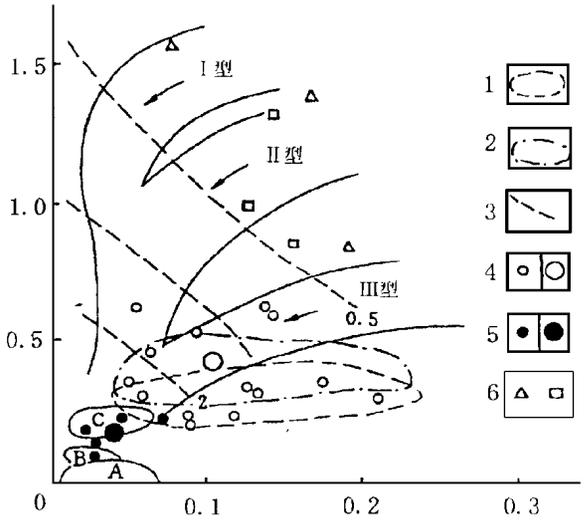


图1 扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床,华南某些含金建造及美国西部卡林型金矿床的干酪根成熟度

Fig. 1 The maturity of kerogens from carlin-type gold deposits in north-west and south-west margin of Yangtze plate and the western U. S. A., and from some gold-bearing formations and oil fields of south China

A. 双桥山群含金建造; B. 水口群含金建造; C. 湘东泥盆系含金建造; 1. 美国西部卡林型金矿床的矿石; 2. 美国西部卡林型金矿床的非矿化样品; 3. 镜质反射率; 4. 扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床大型矿床(大圆为平均值); 5. 扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床小型矿床或矿点(大圆为平均值); 6. 油田的干酪根。  
A. gold-bearing formation of Shuangqiaoshan group; B. gold-bearing formation of Shuikou group; C. gold-bearing formation of devonian strata, eastern Hunan province; 1. mineralized samples of carlin-type gold deposits in western U. S. A.; 2. unmineralized samples of carlin-type gold deposits in western U. S. A.; 3. vitrinite reflectance; 4. the great carlin-type gold deposits in north-west and south-west margin of Yangtze plate; 5. small carlin-type gold deposits in north-west and south-west margin of Yangtze plate; 6. kerogen of the oil field. (large circle represents average value)

将扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床干酪根的 H/G O/C 比值, 油田、华南某些含金建造和美国西部卡林等卡林型金矿床干酪根的 H/G O/C 比值投入 Van Krevelen 图, 从图中可以发现以下特点:

根据干酪根的热成熟演化作用的特点, 将干酪根成熟度分为三级: 低成熟度、高成熟度和过成熟度, 分别为成岩作用、深成热解作用和变质作用产物。扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床的干酪根, 其成熟度属高成熟度, 表明其热成熟演化作用主要是深成热解作用。油田干酪根的成熟度属低成熟度, 其热成熟演化作用是沉积成岩作用。双桥山群、水口群等含金建造的干酪根, 其成熟度属过成熟度, 它们的热成熟演化作用是变质作用。因此, 扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床的干酪根, 其成熟度低于双桥山群、水口群等含金建造的干酪根成熟度, 高于油田干酪根的成熟度。

扬子地块西北缘、西南缘大型卡林型金矿床的干酪根成熟度及其在图 1 中的投影点展布范围与 R. P. Ilchik (1986)<sup>[5]</sup> 标定的美国西部卡林、阿列盖特山等卡林型金矿床的干酪根成熟度及其在图 1 的投影点区间接近。呈平行于 O/C 坐标的带状展布。这一特征表明, 扬子地块西北缘、西南缘的大型卡林型金矿床, 其干酪根的成熟度, 与美国西部卡林型金矿床的干酪根成熟度接近, 属高成熟度, 它们经历的热成熟演化作用相似。

扬子地块西北缘、西南缘小型卡林型金矿床或金矿点, 其干酪根成熟度在图 1 的投影点位置, 与湘东泥盆系含金建造的干酪根成熟度的投影点位置一致, 与该区的大型卡林型金矿床的干酪根成熟度投影点位置差别甚大。这一特点表明, 扬子地块西北缘、西南缘小型卡林型金矿床或金矿点, 其干酪根成熟度与卡林型金矿床的含金建造的干酪根成熟度相近, 两者的热成熟演化作用类似; 而小型卡林型金矿床或金矿点和卡林型金矿床的含金建造, 其干酪根的成熟度不同于大型卡林型金矿床的干酪根成熟度, 两者的热成熟演化作用不同。

作者的观察、研究表明, 扬子地块西北缘、西南缘大型卡林型金矿床的干酪根, 其成熟度投影点聚集在平行于 O/C 坐标的带状区间, 说明这类金矿床的干酪根, 其热成熟演化作用, 不仅是深成热解作用, 还经历了成矿流体的脱碳作用和内生氧化作用。成矿流体为形成大型卡林型金矿床携带了丰富的成矿元素, 其脱碳作用和内生氧化作用, 不仅为成矿元素的沉淀和富集成矿创造了良好的物理化学条件, 而且,

使干酪根的碳含量, 因转变为  $\text{CH}_4$ 、CO 和  $\text{CO}_2$  等 (扬子地块西北缘、西南缘大型卡林型金矿床的矿物流体包裹体内, 经常见到  $\text{CH}_4$ 、CO 及  $\text{CO}_2$ ) 而明显降低, 氧含量升高。因此, 在干酪根成熟度的 Van Krevelen 图中, 这类金矿床的干酪根成熟度投影点聚集在平行于 O/C 坐标的带内。

### 3 结论

(1) 富含有机质是扬子地块西北缘、西南缘卡林型金矿床的重要特征之一。矿床的地质、地球化学特征及干酪根的元素组成表明, 该区卡林型金矿床的干酪根属 II 型干酪根, 其原始有机母质属还原环境中沉积的海相菌藻类生物演化成的腐泥型有机质。

(2) 变质程度较高, 孕育石英脉型或蚀变岩型金矿床的含金建造, 其干酪根的碳含量较高, 氢、氧含量较低, 干酪根的成熟度高; 变质程度较低, 孕育卡林型金矿床的含金建造, 其干酪根的碳含量较低, 氢、氧含量较高, 干酪根的成熟度低。表明了含金建造的变质程度或其孕育的金矿床类型不同, 其干酪根的元素组成特征不同。因此, 含金建造的干酪根元素组成特征及其成熟度可作为含金建造变质程度及其孕育的金矿床类型的重要判别标志之一。

(3) 扬子地块西北缘、西南缘的大型卡林型金矿床, 其干酪根的元素组成特征及成熟度不同于小型卡林型金矿床或金矿点的干酪根元素组成特征及成熟度。表明两者的热成熟演化作用不同。大型卡林型金矿床的干酪根, 其热成熟演化经历了沉积成岩作用、深成热解作用和成矿流体的脱碳作用及内生氧化作用。小型卡林型金矿床或金矿点的干酪根, 其热成熟演化只经历了沉积成岩作用和深成热解作用。因此, 成矿流体的脱碳作用和内生氧化作用是形成大型卡林型金矿床的必要条件之一。

### 参考文献

- 1 曾允孚等. 卡林型金矿床成矿过程中有机质的作用. 中国卡林型 (微细浸染型) 金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994.
- 2 Van Krevelen D. W., Coal Typology, chemistry, physics, constitution New York, Elsevier, 1963.
- 3 谭运金. 滇黔桂地区微细粒浸染型金矿床的矿床地球化学. 矿床地质, 1994 (4), 308~ 321.
- 4 胡凯. 华南若干重要含金建造及其金矿床的有机地球化学 [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 1992.
- 5 Ilchik, R. P. Hydrothermal maturation of indigenous organic matter at the alligator ridge gold deposits, Nevada Econ. Geol., 1986, 81 (1): 113~ 130.

(责任编辑: 莫鼎新 邓大玉)