

金矿床中的有机质及其有机成矿作用*

胡 凯

(南京大学地球科学系, 南京 210093)

关键词 金矿床 有机质 有机成矿作用

金矿床中有机质的存在及对有机成矿作用的认识早在本世纪初就引起了许多地球化学家的广泛兴趣。Freise^[1]和 Fetzner^[2]利用从褐煤和富含有机化合物的黑色河水里提取出来的腐殖酸进行了溶解实验, 指出在隔绝氧气条件下, 金可被这些化合物迅速溶解成腐殖酸盐。Baker^[3]在新几内亚的金矿床附近发现某些腐殖质里的金大大地富集, 其中部分是被有机溶剂所溶解并在溶液中被迁移的。Radtke 等^[4]专门论述了卡林金矿床各种碳质金矿石中碳质物的性质, 含金岩层中的碳物质对金的迁移、富集、沉淀等成矿作用。此后, 有关卡林型金矿中有机物质的研究成果不断涌现, 如 Springer^[5]系统研究了加拿大安大略一魁北克 Abitibi 绿岩带太古代金矿床中碳与金矿化的关系后, 指出在氰化作用交换过程中活性碳对金的富集起了巨大作用。Iichik^[6]研究了美国内华达州 Alligator Ridge 金矿床原生有机质的成熟度, 而有机质成熟度的一系列变化有效地反映出含矿热液活动的特点, 有利于指导找矿勘探。

我国学者自 80 年代以来对金属矿床中有机质成矿作用的认识愈来愈重视。这方面的研究多与实验地球化学、有机地球化学和油气演化的新理论、新技术发展密切结合, 使研究的起点高, 对矿床成因的剖析深入, 现已发展成为矿床成因理论研究的一个新领域。有机质与金矿成矿作用的研究, 特别是与含碳质岩石有关的金矿床包括含碳质建造对金矿化在宏观上的层控性及金在韧性剪切带石墨片岩中的富集, 碳质的热液改造, 围岩和矿石中的沥青、干酪根、石墨以及矿物中含甲烷和沥青包裹体的存在等都有许多成果^[7~13]。此外, 一些研究者还从实验地球化学角度进行了含有机酸水溶液对岩石中金的淋滤, 有机质对金的还原作用, 腐泥、藻煤、腐殖酸和石油卤水与含金溶液之间的反应等研究^[10~18]。这些研究成果极大地推动了我国金矿中有机质的研究和有机成矿作用理论的发展。

1 金矿床中的有机质及其研究方法

金矿床中有机质的研究已由最初探讨金矿床中有机碳的含量变化及其与金含量的相关性研究, 发展到重点讨论不同类型有机质、有机物质的分子结构对金的综合能力、热稳定性和有机质的氧化还原反应对成矿地球化学环境的影响。金矿床中有机质的产出形态是多种多样的, 有层状(薄层)、碎屑状、细分散状、透镜状等, 其中以细分散状为主。有机地球化学和现代

收稿日期: 1997-10-27

作者简介: 胡 凯 男 1961 年生 副教授 矿床地球化学 第六届(1996)侯德封奖获奖者

* 国家教委博士学科点重点学科资助项目

煤岩学一般将沉积岩中常见的原始有机质划分为: (1) 腐殖型: 其母质来源于高等植物, 以富氧贫氢为特征; (2) 腐泥型: 其母质来源于海洋低等浮游生物、藻类等, 以富氢贫氧为特征; (3) 腐殖-腐泥混合型: 介于以上两种类型的过渡类型有机质。根据有机质演化历史及其在地质体中的赋存规律, 又可将其分为可溶有机质和不可溶有机质两大类。可溶有机质在地层岩石中含量少, 浓度低, 是沉积有机质经历热降解作用分化出来的烃类化合物, 包括烷烃、氨基酸、脂肪酸、卟啉等。不溶有机质(干酪根)是沉积岩中赋存有机质的主体, 岩石中 95% 以上的有机碳来自干酪根。干酪根的最终演化产物是非晶质石墨和石墨。沥青也是金矿中常见的另一种重要有机质存在形式。它在以碳酸岩为主的岩石建造中尤为常见。Hausen^[19]在研究卡林金矿床时, 就发现有许多沥青或焦沥青在金矿石中呈细条带状、透镜状等不同形态分布。作者在研究华南石峡金矿床时, 也发现围岩中的有机质主要是沥青, 这种沥青往往沿岩石的层面、裂隙以及断裂构造等呈充填形式分布。它们多与金矿化的热液活动直接有关。

金矿床中的有机质多呈分散状态分布, 其含量在岩石中只占 0. 5% 左右, 有些有机质组分与粘土矿物紧密结合。由于有机质含量低、结构复杂、热演化程度高, 采用一套合适的分离、分析研究与鉴定方法, 无疑可以提高对金矿床中有机质及其成矿作用的认知程度。纵观国内外许多研究者对金矿有机质的研究, 作者综合了现今对金矿床有机质的研究方法(图 1)。

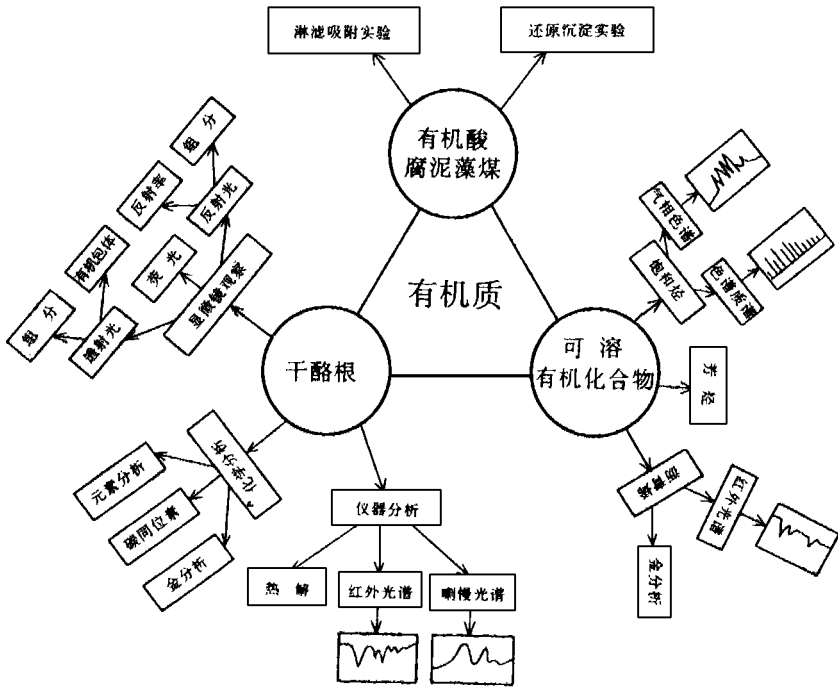


图 1 金矿床中有机质的综合研究方法与技术路线

Fig. 1 Technical paths and synthetical methods of study on organic matter of host rocks in gold deposits

从图中看出,对有机质与金成矿作用的研究主要分3个部分进行:(1)可溶有机质的分离与分析;(2)不溶有机质(干酪根)的分离与分析;(3)生物、有机酸及腐泥藻煤对金的淋滤、富集成矿模拟实验。这个综合研究方法既体现了有机地球化学最新分析、分离鉴定技术的应用,又结合了矿床成因研究特点,运用实验地球化学模拟生物有机质成矿作用。

2 我国华南金矿床中有机质的分布特征

作者近年来对华南不同时代几个重要的含金建造及其金矿床中的有机质进行了系统分析、鉴定和对比(表1)。由表1可发现以下特点:(1)含金建造地层形成的时代和沉积环境不同,其改造成的金矿床的有机碳含量不同。如桂东下寒武水口群黑色岩系建造,其含矿主岩的有机碳含量较高,变化范围大,为0.11%~9.73%,加权平均值为0.89%(42个样品)。赣东北中元古界双桥山群含金建造,其含矿主岩的有机碳含量较低,变化范围小,为0.09%~0.24%,加权平均值为0.17%(43个样品)。(2)上述两地层中含矿主岩中的有机质多为无一定形状、无固定结构的沥青和石墨;沥青和石墨构成了各时代含金建造各含矿主岩中主要有机质显微组分。(3)含矿主岩中有机质的赋存形态可分为两类:一类是纹层、细分散状的原生沉积型,多分布于碳质千枚岩、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构造特征,这类有机质较好地保存了原生沉积特征。另一类是受金矿热液改造后的有机质,多分布于构造或岩石裂隙中,与黄铁矿、方铅矿和黄铜矿等金属矿物共生。由于热液改造作用的结果,有机质多演化至次石墨或形成沥青分布于矿物颗粒间。(4)有机质反射率(R°)的测定表明,大部分有机质的演化程度都很高。双桥山群含矿岩石有机质的 R° 值为3.75%~6.81%,平均4.88%,达到过成熟至石墨演化阶段;下寒武统水口群含矿主岩有机质的 R° 值为1.87%~3.58%,平均3.01%,达高成熟至过成熟演化阶段;泥盆系余田桥组含矿主岩有机质的 R° 值为2.39%~5.56%,平均4.39%,达过成熟阶段。这一结果进一步表明,有机质的演化历史或热成熟史不仅与区域地质演化史有关,还可能与金矿热液的改造作用或金矿化作用有十分密切的关系。含矿热液的活动加剧了有机质的热演化进程。(5)干酪根的碳同位素分析结构表明,各时代含金建造金矿床有机质的组成有一些差别,碳同位素为-23.0‰~-34.0‰,都属腐泥型(I型)和腐泥-腐殖质型(II型)。表明华南金矿床中的有机质母质主要是来自原始沉积的低等藻类物质和低等浮游动植物。随着含金建造地层时代渐新,干酪根碳同位素比值显示出重碳同位素逐渐富集的规律,这与华南古地理环境的生物演化史相一致^[20]。

3 金矿床的有机成矿作用剖析

金矿床中的有机质与金矿化作用有密切的成因联系,已在许多矿床实例中得到证实。有机质在金矿形成过程中对成矿元素的富集、迁移、沉积的重要作用已被众多研究者认同。作者把有机质在演化历史中对金矿床形成的作用统称“有机成矿作用”。依据层控金矿床成因理论,特别是含碳岩系金矿床的形成特征,有机质对金矿床形成的作用——有机成矿作用可以从以下两个方面剖析:

(1)有机质在碳质含金建造形成中的作用:碳质含金建造是含有较高有机碳的沉积岩建造,或者在建造内某一特定的地层层位中富含有机碳。这种富含有机碳的含金建造形成的重要条件至少有两个:一是有机质和金的成矿物质来源。与金矿床伴生的有机质多属腐泥型(I

表 1 华南某些金矿中有机质特征及金含量

Table1 Character st cs of organ c matter and gold amounts n gold depos ts of South Ch na

金矿床点	分布地区	地层层位	岩性组合	C _{有机} / %		Au/ 10 ⁻⁹		R ^o / %		干酪根碳同位素 δ ¹³ C/ ‰ (PDB)	有机物质产出特征	有机物质分布特征
				变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值			
金山	赣东北	双桥山群	碳质千枚岩	0.10~ 0.22	0.15(18)	3.4~ 31.0	14.0(8)	3.75~ 5.82	4.63(2)	- 33.069	次石墨, 石墨	呈分散星点状分布, 集合体呈针状、细条带状沿岩石的层理或绕矿物边缘分布
			碳质板岩	0.12~ 0.24	0.20(15)	10.0~ 29.0	18.3(9)	4.06~ 4.87	4.51(3)	- 34.008		
			变质砂岩	0.09~ 0.17	0.13(8)	2.8~ 16.0	11.5(15)			- 32.900		
			硅质岩	0.16~ 0.21	0.19(2)	10.0~ 25.3	17.7(2)	5.27~ 6.81	5.67(2)	- 33.900		
龙水桃花古袍	桂东	下寒武水口群	碳质板岩	0.37~ 9.73	1.56(14)	4.60~ 155.0	33.7(16)	2.91~ 3.58	3.22(4)	- 31.050	干酪根, 次石墨	多为颗粒状, 沿原岩层理产出, 集合体呈云雾状分布, 少量呈条带状充填于岩石裂隙中
			泥质板岩	0.23~ 1.42	0.74(7)	2.4~ 38.0	12.1(12)	2.09~ 3.67	2.91(5)	- 30.601		
			碳质粉砂岩	0.18~ 1.92	0.55(16)	1.30~ 68.0	13.2(9)	1.87~ 3.25	2.69(3)	- 27.802		
			硅质岩	0.11~ 0.78	0.30(5)	3.0~ 16.6	6.8(4)	3.89~ 4.53	4.21(3)	- 29.293		
石峡高家坳	湘东	泥盆系余田桥组	泥质灰岩	0.15~ 0.45	0.20(9)	1.0~ 12.0	4.4(25)	3.51~ 4.81	4.46(5)	- 26.745	沥青	沿岩石裂隙或矿物间粒的边缘分布, 多具棱角状
			含碳硅化灰岩	0.12~ 0.35	0.19(3)	1.1~ 15.0	4.2(12)	3.89~ 5.56	4.66(7)	- 23.693		
			含碳白云岩	0.15~ 0.39	0.25(3)	1.5~ 6.8	4.9(3)	2.39~ 4.44	3.25(2)	- 25.024		
			粉砂岩	0.12~ 0.15	0.14(5)	0.8~ 3.9	2.6(5)					

型)和腐泥-腐殖型(Ⅱ型)有机质,这表明藻类生物和浮游低等植物在其下降沉积、埋藏和生物化学循环过程中对海水或周围介质体系中金等成矿元素发生富集作用,形成金预富集层。事实上,金是一种亲生物倾向的元素,在生物化学循环过程中有优先聚集在富含有机质的沉积物内。这与作者在干酪根中发现金的含量是岩石中的数十至数百倍的结果相一致^[7]。二是含金建造中沉积有机质的保存、聚集与转化条件。有机质在水体中沉降和早期成岩作用时期经历氧化分解与微生物降解过程中所生成的物质可以改变水体介质与沉积物的氧化-还原条件,形成缺氧、富硫化氢的还原环境,有利于有机质的保存与聚集。从而形成更有利于金等成矿元素富集的地球化学环境。

(2) 有机质在金沉淀中的还原作用: 有机质是一种还原性物质,可使部分金属元素从水溶

液中还原沉淀下来。Gatellier^[21]利用低成熟褐煤($R^0 = 0.5\%$)研究了对 Au^{3+} 的还原作用,在温度升到 120°C 时,在煤粒中获得分散的微粒金。随着沉积有机质在生物化学作用阶段向深成成岩作用阶段和变质作用阶段的演化,有机质受热分解发生碳氢化合物的脱氢作用所形成的分子氢,同样可使水溶液中和先期富集于有机相中的金得以还原沉淀。在一定的温度条件下,有机质还原沉淀溶液中的 Au^{3+} (或 Au^+) 的机理在理论上是可行的,其反应式可简化为:



实验研究证实,在 $120\sim 200^\circ\text{C}$ 时,含金溶液中的有机质发生快速脱氢作用,加速了溶液体系中金离子的还原^[9]。显然,有机质的还原作用导致溶液中金的沉淀是金矿床形成的一种十分重要的方式。有机质通过还原作用使金沉淀和富集,同时有机质被氧化和分解。

参 考 文 献

- Freise F W. The transportation of gold by organic underground solutions. *Econ. Geol.*, 1931, 26: 421~ 431.
- Fetzer W G. Transportation of gold by organic matter solutions. *Econ. Geol.*, 1934, 29: 599~ 604.
- Baker W E. The role of humic acid in the transport of gold. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1978, 42: 645~ 649.
- Radtke A S, Scheiner B J. Studies of hydrothermal gold deposition(I), Carlin gold deposits, Nevada: the role of carbonaceous materials in gold deposition. *Econ. Geol.*, 1970, 65: 87~ 102.
- Springer J S. Carbon in Archean rocks of the Abitibi belt (Ontario—Quebec) and its relation to gold distribution. *Can. J. Earth. Sci.*, 1985, 22: 1945~ 1951.
- Ilichik R P, Brimhal G H. Hydrothermal maturation of indigenous organic matter at the Aligator Ridge gold deposits, Nevada. *Econ. Geol.* 1986, 81: 131~ 140.
- 胡 凯. 有机质在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.
- 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.
- 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.
- 胡 凯, 刘英俊, 王鹤年等. 华南碳质岩系层控金矿的有机地球化学特征和成因. *中国科学(B 辑)*, 1995, 25(10): 1089 ~ 1099.
- 刘金钟, 傅家谟. 几种有机质对岩石中金的淋滤、萃取及还原作用的实验研究. *矿床地质*, 1993, 12(3): 245~ 252.
- 陈庆年, 贾蓉芬. 丹寨汞-金矿床有机质与金属的某些特征. 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年报(1986). 贵阳: 贵州人民出版社, 1987. 145~ 158.
- 陈 梅, 陈尚迪, 方耀奎等. 广西凤山县金矿床有机地球化学的某些特征及其与金矿化的关系. 见: 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室年报(1990). 贵阳: 贵州人民科技出版社, 1991, 55~ 63.
- 卢家烂, 庄汉平. 有机质在金银低温成矿作用中的实验研究. *地球化学*, 1996, 25(2): 172~ 180.
- 林 清, 傅家谟, 卢家烂等. 油气演化与一些金矿成因的关系. *地球化学*, 1993, 22(3): 217~ 225.
- 刘金钟, 傅家谟, 卢家烂. 含有机质热水溶液与金、铜、汞相互作用的实验研究. *现代地质*, 1992, 6(3): 309~ 316.
- 李九玲. 微细浸染型(卡林型)金矿成矿过程中碳和有机质的作用. *矿床地质*, 1996, 15(3): 193~ 205.
- 谭运金, 韦龙明. 扬子地块西北缘及西南缘卡林型金矿的有机质地质地球化学. *矿床地质*, 1997, 16(3): 130~ 138.
- Hausen D M. Disseminated carbonaceous gold deposits. *Journals of Metals*, 1985, (1): 75~ 78.
- 张爱云, 伍大茂, 郭丽娜. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义. 北京: 科学出版社, 1984. 105~ 131.
- Gatellier J P, Disnar J R. Kinetics and mechanisms of the reduction of Au(III) to Au(0) by sedimentary organic materials. *Org. Geochem.*, 1990, 16: 631~ 640.

Organic Matter in Gold Deposits and Organic Mineralization

Hu Kai

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract This paper systematically dealt with characteristics of organic matter in gold deposits and introduced some major modern analytical methods of organic matter related to gold deposits. The results of organic geochemical study on organic matter in gold deposits of South China showed that there were graphite and bitumen as major organic composition in ores or host rocks. The origin of the organic matter in gold deposits belonged to sapropelic type (Kerogen type I) and sapropelic-humic type (Kerogen type II) evolved from bacteria and algae in reduced environment. The maturity of organic matter was high, belonging to catagenesis. The results of this work indicated that the organic matter of host rocks probably played a controlling role in the forming processes of gold deposit. It was suggested that there existed two roles in the forming process of carbonaceous gold deposit of South China. One role was a preliminary enrichment of gold element in gold-bearing formation, which absorbed gold from auriferous solution in geochemical circulative system. The another role was the reduction of Au^{3+} to Au^0 by organic matter in the range of 120 ~ 200 °C.

Key words: gold deposit; organic matter; organic mineralization