

生物在金矿成矿过程中的作用

——以川西北地区东北寨金矿为例

陈中强

(中国科学院南京地质古生物研究所·南京市·210008)

谢树成

(中国地质大学·武汉)

余水生

(吐哈石油勘探会战指挥部·鄯善)

A 根据沉积学和地层学分析,晚三叠世新都桥组黑色页岩是金矿的矿源层。黑色岩系属于深海相沉积。矿石的地球化学、有机碳分析及水中藻类吸附金的实验表明,金的富集与海洋浮游生物有关,即海洋浮游生物或其变体——有机碳,从古大洋中富集金,后期又经热液改造成矿作用,形成含金矿石。

关键词 有机碳分析 藻的吸附作用 金矿床

成矿作用



1 矿床地质概况

东北寨浸染型金矿位于四川省松潘县(图 1)。赋矿层位为上三叠统如年各组。地质·矿床 金矿体呈似层状、透镜状分布于南北向贯穿全区的垮石崖逆冲断层下盘的如年各组黑色板岩中(俗称黑色岩系)。断层面上盘为下石炭统雪宝鼎群泥灰岩(谢树成、殷鸿福,1989)。目前,矿区在 4.5km 长的地段内发现有 5 个金矿体。区内矿石类型以黄铁型和雄黄型为主;此外还有砂岩型、板岩型矿石。矿石显示“细、少、杂”的特点。

研究该金矿床的单位很多,对其成因众说纷纭。多数认为金矿与沉积岩关系密切。1989 年夏,笔者在殷鸿福教授的指导下,对该金矿床作了详细的野外地质工作和采样。近年又做了室内测试分析和实验,得出一些不同于前人的新认识。

2 含矿层的沉积环境

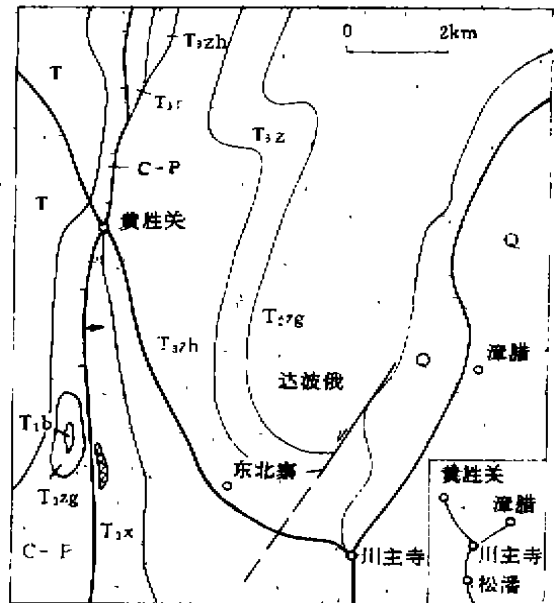


图 1 东北寨金矿床地质简图

Q—第四系;T—三叠系;T_{3r}—上三叠统如年各组;T_{3zh}—上三叠统侏儒组;T_{3zg}—中三叠统杂谷脑组;T_{3x}—中三叠统扎朵山组;T_{1b}—下三叠统波茨沟组;C—P—石炭—二叠系;F—断层;1—公路;2—矿点位置

本文 1994 年 3 月收到,1994 年 11 月改回。侯庆有编辑。

基于容矿层为如年各组黑色岩系这一事实,如年各组的沉积环境对金矿床金的富集有着重要的作用。成都地质学院东北寨金矿课题组^①认为,该组的古环境为淡化海湾。他们的理由是:黑色岩系厚度大(一般厚 60~150m),有机质含量为 0.2%~0.7%,且有含量为 1%~3%的细粒黄铁矿沿层分布。鉴于深海盆地沉积页岩一般厚度不大,有机质不可能达到目前矿区的含量,且成分均一;原地沼泽沉积以大量植物根系为特征,故该岩系沉积环境为淡化海湾。

根据我们的工作认为,含矿层的黑色板岩与下伏的侏倭组、杂谷脑组砂岩、板岩沉积同属晚三叠世卡尼组的浊流沉积产物^②,沉积环境为深海盆地,这是因为:

2.1 杂谷脑组、如年各组岩性上显示出一定的相似性,均出现砂岩、板岩韵律,只是砂岩/板岩之比例在剖面上从杂谷脑组到如年各组逐渐变小,砂岩粒度逐渐变小,到如年各组则以板岩占绝对优势;夹少量细砂岩为特征。

对该套沉积砂岩作粒度分析表明:各种粒度参数按萨胡(Sahu,1964)环境判别公式计算Y值为8.0757,小于9.8433,反映了较细粒的浊流沉积特征。另外,还作出了相应的概率累计频率曲线图(图2)。图2显示出一条较缓的直线,悬浮总体占绝对优势,表现为浊流远端沉积特点。在野外露头上,侏倭组保存较多的发育较完善的鲍玛序列,说明当时海盆中确实有浊流活动。

2.2 在矿区含矿层中采到了破碎的黄铁矿化的海百合茎,也发现有保存完好的槽模沉积构造。一般认为,槽模是浊流成因的特定沉积构造。因此,这些指示了当时海盆中有浊流活动的迹象;当然,浊流不可能发生在淡化海湾中。

2.3 在含矿层的黑色岩系中,保存有大量的较深水相的遗迹化石:*Cosmorhapha* sp., *Helminthopsis* sp., *Helminthoida labyrinthica*

Heer, *Phycosiphon incertum* Ficher—Ooster, *Protopaleodictyon incimpositum* Ksiazkiewicz, *Megagraption* sp. 等。这些遗迹化石大多数是

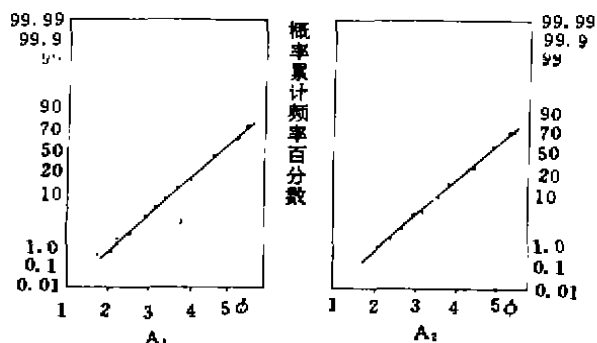


图2 粒度分析概率累计频率曲线图
砂岩粒度分析参数表

样 品	A ₁	A ₂
岩 性	岩屑砂岩	
中径(mm)	0.2000	0.1000
均值(M ₂)	3.6800	3.8660
标准偏差(δ ₁)	0.7360	0.7216
偏 度(SK ₁)	0.0259	-0.0540
尖 度(KG)	1.1000	1.1065
最粗粒径(mm)	0.2970	0.2610
环境判别值(Y)	8.4336	8.0575

环境判别公式(据萨胡,1964):

$$Y_{\text{河流, 浊流}} = 0.7215M_2 - 0.403\delta^2 + 6.7322SK_1 + 5.2927KG;$$

$Y > 9.8433$ 为河流沉积; $Y < 9.8433$ 为浊流沉积

食泥动物觅食构造和牧食迹,是深海遗迹化石相中的重要成员,在我国西秦岭地区三叠系浊积岩中较为常见(殷鸿福、杨逢清,1989)。该遗迹化石组合相当于赛拉赫(Seilacher)遗迹化石相带的 *Nereites* 遗迹化石相带,为远端浊流沉积的标志之一。故含矿层黑色岩系仍是晚三叠世卡尼期间歇性发生的浊流沉积产物,其沉积环境为一个深海盆地,并且,从黑色岩系中 FeO/Fe_2O_3 比值高、

① 成都地质学院,川西北东北寨金矿综合研究报告,1988年。

② 陈中强,四川松潘地区三叠纪地层划分、沉积环境分析,兼论东北寨金矿生物成矿作用(学位论文),1990年。

有机质含量丰富等特征来看,这时的海盆富有机质,还原性较强。

3 矿质来源及富集方式

矿体周围的岩性大致有3类:即薄层泥灰岩、钙质粉砂岩、碳质千枚岩及板岩,含Au量分别为 4.47×10^{-9} 、 7.37×10^{-9} 、 7.75×10^{-9} 。成都地质学院东北寨金矿课题组根据对矿石方解石脉的地球化学元素测定和野外露头中碳酸盐岩位于黑色岩系之上等理由,认为该金矿床类似美国卡林型金矿,矿质来源于断层上盘的碳酸盐岩,并认为该金矿床是由大气降水补充的地下热水成因。

通过我们的野外和室内工作,认为该金矿的矿质来源于如年各组的黑色岩系,其富集与生物密切相关,而不是纯化学运移,热液作用只是对矿床起后期改造作用。理由有三:

3.1 矿石的地球化学资料信息

对金的主要载体黄铁矿分析发现,有莓

群状黄铁矿。这种黄铁矿是典型的沉积成因。据成都地质学院对FeS中 $\delta^{34}\text{S}$ 的测试, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 -4.37‰ ~ $+6.3\text{‰}$,极差 $<10.7\text{‰}$,离散度为3.84‰。这些数据远大于硫源与岩浆有关的矿床中相关数据,其平均值与地层中同生的莓群黄铁矿中的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相近,也与中、晚三叠世由生物和细菌还原海水硫酸盐形成的 H_2S 和其他硫化物中 $\delta^{34}\text{S}$ 值一致。这说明,矿液中的S来自沉积的围岩,特别是黑色岩系。另外,黄铁矿中Co/Ni比值变化范围为0.14~0.60,均小于1,也说明其组分来自沉积岩。

3.2 有机质分析提供的信息

测试表明,矿区有机碳含量普遍较高(0.2%~0.6%),尤其是黑色板岩中有机碳含量更高(0.4%~0.7%),而碳酸盐岩中含量最低(0.05%~0.09%)。通过对岩样中有机碳的测试发现,容矿层中Au含量与有机碳的含量成正相关(图3)。

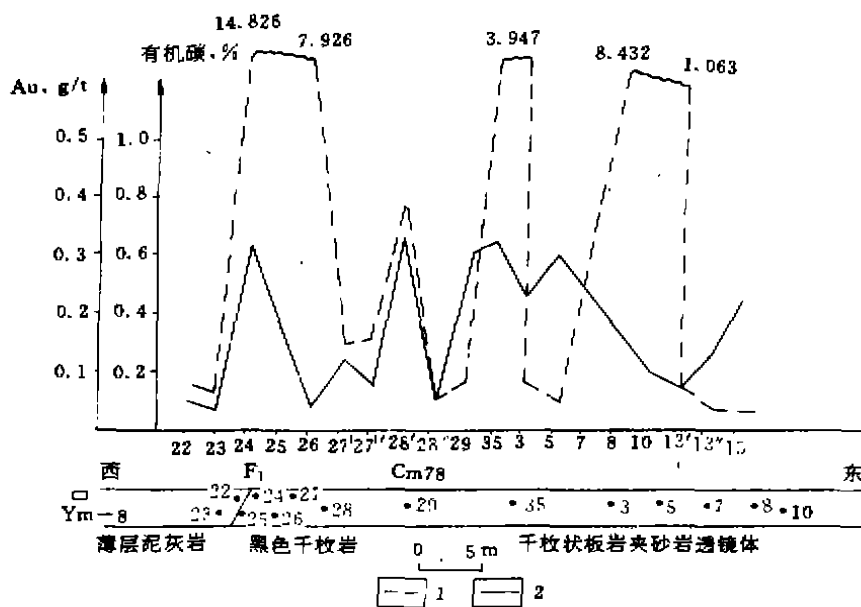


图3 矿区样品中有机碳、金含量曲线及采样点

(据成都地质学院,1988年)

1—金;2—有机碳

我们对容矿层的板岩作了有机碳分析,镜下发现无定形的黑色镜质体(Vitrinite)占

60%，壳质组的孢子，花粉化石 *Osmundacidites* sp., *Protoconiferus* sp., *Piceapollenites* sp., *Pinuspollenites* sp. 等占 20%；还有一些具不清晰的几何边缘无定形片、团块等所谓的絮质体，占 20%。从以上有机质分析不难看出：一些无定形的黑色镜质体主要是成岩后受变质程度稍高而形成的。一些腐泥型干酪根的存在，指示了黑色岩系在成岩时确实存在着低等海洋浮游生物（包括菌、藻类）生活。

3.3 现代生物对 Au 吸收(吸附)性实验提供的信息

对矿区中常见的一种蒿科植物及 B 层土壤我们取样测试了其含金性，共采 9 件样品，结果发现两者含 Au 量具有良好的一致性，特别是矿区容矿层中的样品具有相当好的正相关性(图 4)。这些样品(每个灰样约重 5g)中含 Au 最高者可达 45×10^{-9} 。这一结果与加拿大魁北克的斯维尔地区的金矿区中马尾草灰样含金量相近，说明矿区的植物和土壤对 Au 都具有相似的吸收(附)能力，亦表明 Au 可通过粘土被植物的根系吸收(附)。

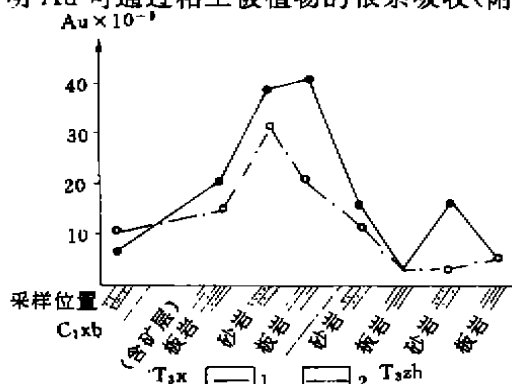


图 4 矿区土壤与植物灰样含金量对应图
1—植物灰样；2—土壤样

另外，据笔者之一(谢树成)对现代海藻类作吸收(附)Au 的能力实验表明，藻对金具有很强的吸收(附)能力。实验分 3 组进行，共选用 4 种藻，3 种不同浓度的 Au 溶液，且溶液的盐度也不一样(图 5)。可以看出，这些藻大约 18 天可将 Au 溶液中的 Au 吸收(附)

98% 以上。不同类型的藻对相同浓度 Au 溶液中 Au 的吸收(附)能力相近；相同的藻对不同浓度溶液中 Au 的吸收(附)能力有差别。在前 10 天内，相同的海藻对浓

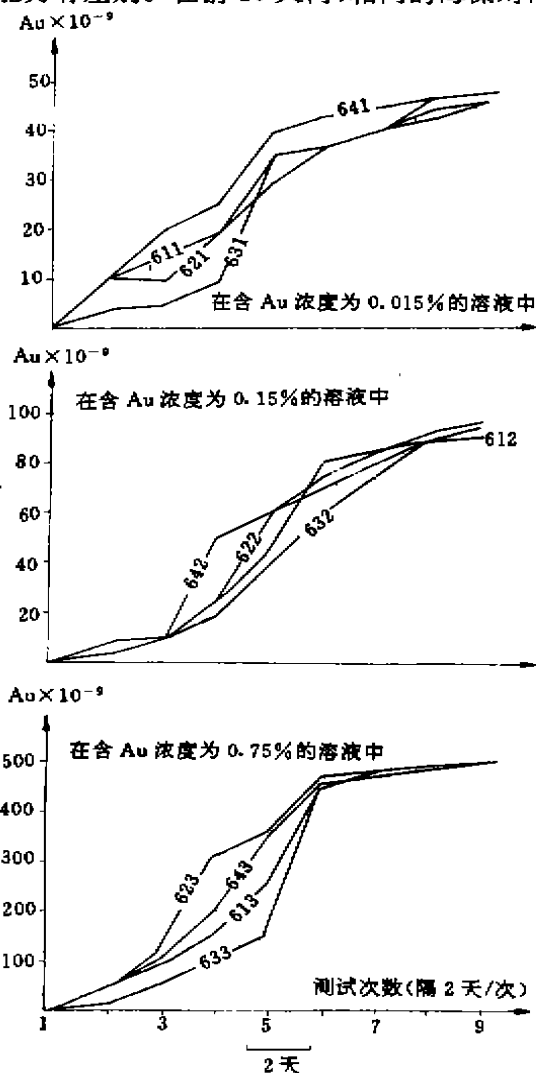


图 5 藻在 Au 溶液中吸收(附)Au 的含量与时间的关系曲线图

641, 642, 643 号样为海藻，盐度 36%；631, 632, 633 号样为淡水浮游藻；611, 612, 613 号样为丝状海藻，盐度 19%；621, 622, 623 号样膜状海藻，盐度 19%。度为 0.015% 的 Au 的吸收(附)可达 80% 以上，明显高于其他两组；对浓度为 0.75% 的 Au 溶液中 Au 的吸收(附)最小，仅达 60%。但 18 天后，它们对各组不同浓度 Au 溶液中 Au 的吸收(附)趋于相同，均在 98% 以上。因

此,当海水中 Au 的含量并不很大时,藻对其吸收(附)能力最强。其实,生物对 Au 的吸收(附)实验,国外早就有人做过。Babicka (1943)指出,灰绿青霉能把胶体金吸附在它的膜上或其附近,并认为金矿床和矿山表面部分的真菌对 Au 从离子→胶体态的转变方面起很大的影响。

基于上述事实不难看出,东北寨金矿床中 Au 是来源于赋矿围岩,特别是如年各组的黑色岩系。该金矿床中 Au 的含量与有机碳的含量成正相关。另外,含矿层(即如年各组)的有机质分析表明:沉积岩在成岩之前的古海洋中存在丰富的低等浮游生物(包括菌、藻类)。现代植物及藻类对 Au 的吸收(附)能力很强,因此,该矿床 Au 的富集与生物有着密切的关系,或者由生物本身,或者由生物分解出的有机碳,或者两者兼而有之,对古海洋中 Au 进行吸收(附),将 Au 聚集于海盆之底,形成了很高的金背景值。

4 推测成金的富集模式

从区域地质工作不难看出,晚二叠世松潘地区为隆起剥蚀区,而在邻区却有火成岩玄武岩喷发,反映了当时区域上岩浆活动较强烈;只是松潘地区处于隆起状态,火山岩被剥蚀掉了。这一点可以从该地区早三叠世茂茂沟组富含火山物质的沉积反映出来。这次火山活动为该区带来了丰富的锰、铁、金等元素。由于地表风化剥蚀及其他地质作用的影响,这些成矿元素汇集于当时的古海洋之中。从早三叠世开始,该区接受海相沉积,并且很快就变成海盆;到晚三叠世,该区变为一个较

深的海盆,这时,间歇性的浊流事件频繁发生。同时,生活于海盆中的微生物也相当丰富,海盆的水质还原性较强,故有机碳含量也相应增多。这时,要么生物本身,要么生物的演化产物——有机碳,要么两者兼而有之,将海水中的 Au 吸收(附)聚集于沉积物中。故而成岩后,在如年各组的黑色岩系中有着很高的 Au 背景值。经过后期的热液变质作用或其他地质作用的改造,就形成了现在的金矿床。

本文在完成的过程中,得到殷鸿福教授的指导,成文后,廖卓庭教授作了详细的审阅,提出许多宝贵意见,在此一并致谢。

参考文献

- 1 孙永传、李惠生. 碎屑岩沉积相和沉积环境. 北京:地质出版社,1986.
- 2 陈楚震. 西藏晚古生代至三叠纪双壳类化石. 见:西藏古生物(第四分册). 北京:科学出版社,1982.
- 3 杨遵仪、殷鸿福、徐桂荣等. 南祁连山三叠系. 北京:地质出版社,1983.
- 4 杨式溥. 我国浊流沉积复理石相的遗迹化石及古生态和古环境. 见:中国古生物学会第13~14届学术年会论文集. 合肥:安徽科学技术出版社,1986.
- 5 郑明华. 层控金矿床概论. 成都科技大学出版社,1989.
- 6 饶荣标等. 青藏高原的三叠系(地质专报). 北京:地质出版社,1987.
- 7 张维根. 有机质岩层与金矿化. 山西冶金地质情报. 1989(4):1~10.
- 8 郝治纯、茅绍智. 微体古生物学教程. 武汉:中国地质大学出版社,1989.
- 9 谢树成、殷鸿福. 川西北东北寨金矿早石炭世的化石. 地球科学——武汉中国地质大学学报,1989,14(3):270.
- 10 卡尔斯 G. (李莉译). 中国浸染状金矿床与美国卡林型金矿床的对比. 黄金科技动态. 1989(11):29.
- 11 博伊尔 R. W. (马万钧等译). 金的地球化学及金矿床. 北京:地质出版社,1984.
- 12 Durand B. Kerogen, Technip-Paris. 1980.
- 13 Klemm D. D. & Schneider H. J. Time and strata bound ore deposits. Berlin. Heidelberg New York. 1977.

Biomineralization of Dongbeizhai gold Deposit in Northwestern Sichuan

Chen Zhongqiang Xie Shucheng Yu Shuisheng

According to sedimentology and stratigraphy, the source bed is late Triassic black shale in Xinduqiao formation, and belongs to abyssal facies. It is indicated, by the analyses of ore geochemistry, and organic-carbon and the experiment of algae absorbing gold in water, that the enrichment of gold is correlated to plankton. Namely, by marine plankton or its variant—organic-carbon, gold was enriched from paleo-ocean, and then reformed by hydrothermal solution to form auriferous ores.