

右江盆地流体运移过程中成矿与成藏作用

向才富

胡建武

(中国地质大学资源学院 湖北 武汉 430074)

(中国地质大学 北京 100083)

摘 要 右江盆地裂陷期和坳陷早期的沉积物提供研究区金矿与古油藏的物质与流体。成矿物质与烃类在盆地流体中沿以二叠纪生物礁为核心的断层、浊积岩及不整合面组成的三维输导体系向盆地边缘及二叠纪生物礁的核部运移。由于烃类物质与盐水体系密度的差异,使烃类物质与成矿物质差异聚集于不同的圈闭中形成流体藏。流体矿藏的破坏是导致成矿物质沉淀形成矿床的直接原因。构造活动、风化剥蚀及流体压裂均可导致流体矿藏破坏,其中燕山构造运动是该区流体藏破坏的主要原因,因而亦是该区金矿成矿作用的主要构造营力。本文从盆地流体运移、演化的角度证明,该区古油藏是盆地裂陷与坳陷阶段流体聚集的产物,而矿床则是盆地挤压抬升阶段流体藏破坏、流体散失的结果。研究成果表明,金矿与油气是同一盆地流体在其不同演化阶段的产物,这对在盆地中寻找相同类型的金属矿产意义重大。

关键词 盆地流体 流体藏 输导体系 差异聚集 右江盆地

Ore-forming Process and Petroleum Accumulation during Fluid Migration in the Youjiang Basin South China

XIANG Caifu

HU Jianwu

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074) (China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract The sediments deposited in the rifting and the early depression stages provided materials and fluids for ancient oil reservoirs and ore deposits. The ore-forming elements and the organic matter were transported to the basin margin or the core of the Permian reef by the same basin fluid along the conduit systems consisting of faults, turbidite sandstones and unconformities. Due to the density difference, the hydrocarbon and the ore-bearing fluids were trapped in different reservoirs (hydrocarbon reservoirs or ore-bearing solution reservoirs) along the conduit systems. The destruction of these reservoirs changed the characteristics of the fluids to an extreme extent and caused the precipitation of the ore-forming elements. Tectonic movement, erosion and fluid hydrofracturing were three factors responsible for the destruction of the fluid reservoir, with the first factor being most important. Thus, the gold deposits in the Youjiang basin were formed mainly during the Yanshanian tectonic movement. Viewed from the fluid migration and evolution, the ancient oil reservoirs were formed during the rifting and depression stages of the basin, while ore deposits resulted from the destruction of the fluid reservoirs during the uplifting stage of the basin. This analysis verifies the conclusion that the ore deposits and ancient hydrocarbon reservoirs in this area are products of the same basin fluid in its different stages of evolution. The conclusion reached is of great significance in guiding the exploration of the same kind of ore deposits in the sedimentary basin.

Key words basin fluid fluid reservoir conduit system differential concentration Youjiang basin

20世纪90年代“流体热”的兴起,使人们认识到盆地流体在世界上许多大型和超大型矿床的成矿作用中发挥了巨大作用(Vlassopoulos等,1990;Garven等,1993;Barnicoat等,1997),成矿作用和成藏作用在流体研究领域互相融合(Giuliani等,2000;

Lee等,2000;Gustkiewicz等,2001;Hulen等,2001)。国内学者也做过许多卓有成效的工作,从不同角度探讨了有机质与成矿的关系(涂光炽,1998;庄汉平等,2000)及古油藏与金属矿床的共生关系(邵树勋等,1999;向才富等,2002),试图将成矿与成

藏过程统一到流体的演化过程中(何立贤等,1994;涂光炽,1998;刘建明等,2000;陈衍景等,2001),但均未具体探讨流体的运移演化过程及其与成藏-成矿作用的关系。右江盆地是一个被燕山期构造活动破坏了的古生代-中生代沉积盆地,是中国重要的以金为主的多金属成矿省,油气勘探实践证明,在其演化过程中曾经形成了大规模的油气藏,而这些油气藏受到了燕山期构造活动的破坏,仅在局部残留了沥青矿(涂光炽,1998;邵树勋等,1999)。结合金属矿床与古油藏的这种时-空关系阐述了该区矿床和古油藏是盆地流体在其不同演化阶段的产物。

1 右江盆地基本地质特征

右江盆地位于扬子板块的西南缘滇-黔-桂三省的交界部位,呈菱形展布(庞保成等,2001)。从剖面上看,右江盆地的充填格局具有“下断上坳”的特点(图1)。盆地在志留系末期的广西运动后进入快速拉张、裂陷阶段,具有成熟的“台盆相间”的结构形态,盆地相沉积物为深海硅质岩、泥晶灰岩、火山碎屑岩等,碳酸盐岩台地为浅水生物礁、滩相沉积。早二叠世晚期的东吴运动使右江盆地进入挤压、坳陷

阶段,主要沉积物为陆源碎屑物质和火山碎屑物质。中晚三叠世的印支运动最终使海水退出,右江盆地进入了隆升剥蚀阶段。盆地在裂陷期和坳陷期沉积了超过3500m厚的碳酸盐岩生油岩和泥质生油岩(中国石油地质志,1987)。同时,由于沉积地层中金的背景值较高(图1),也是该区金矿的矿源层(涂光炽,1998;庞保成等,2001)。该区金矿主要以显微-次显微状不可见金形式分散产于二叠纪生物礁核部或侧翼的细粒浊积岩中,矿体多受不整合面和断层的控制(向才富等,2000)。某些矿床产出的部位已被证明是古油藏存在的部位,并认为二者之间存在成因联系(涂光炽,1998;邵树勋等,1999)。

2 流体及物质来源及运移路径

2.1 物质来源

盆地流体表现出由初始流体→有机流体→有机成矿流体的演化趋势。右江盆地在裂陷期和坳陷期共沉积了超过10000m厚的火山碎屑岩与陆源碎屑岩(中国石油地质志,1987),为该区金属矿产及古油藏提供了丰富的流体及物质基础。沉积物在早期压实阶段(埋深小于2000m)排出大量孔隙流体,

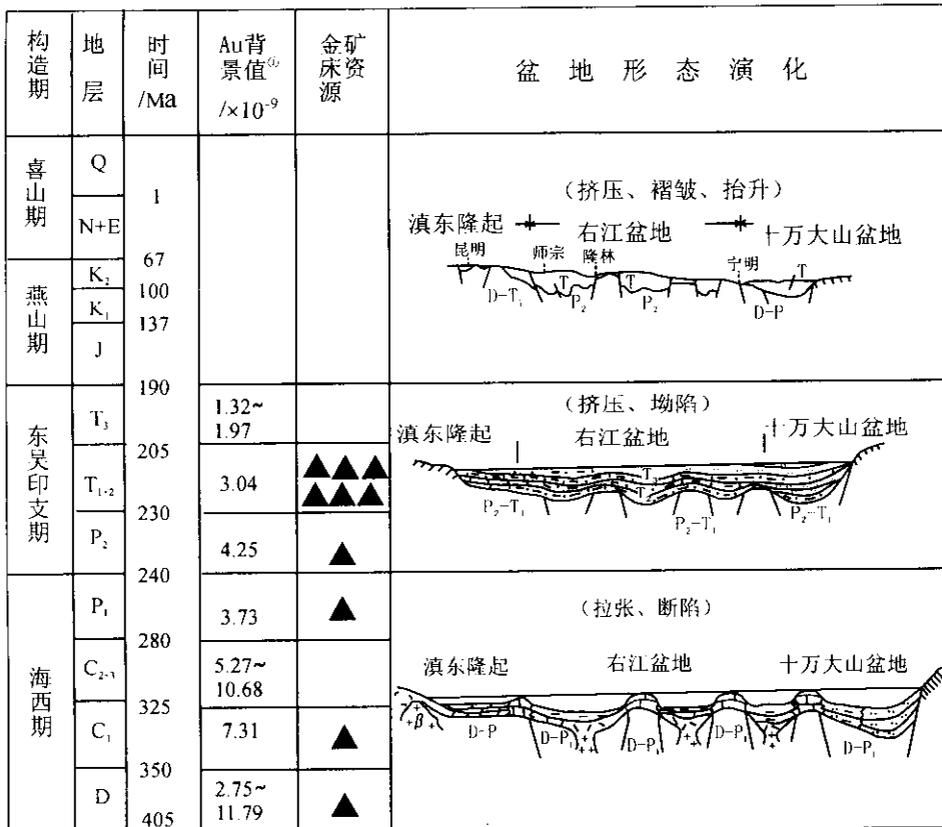


图1 右江盆地剖面演化特征及该区金矿资源

孔隙流体中含有一定量的金属离子,但盐度很低(李明诚,1994),只能称之为初始流体。真正实质性的变化是盆地中的烃源岩成熟之后(埋深 2 000 ~ 3 000 m,李明诚,1994),有机质的加入使盆地流体变为有机流体。有机质的加入使流体对成矿物质的萃取能力大大加强,并逐渐演变为有机成矿流体。有机质的作用主要表现在:

(1)有机质为流体运移提供全程酸性环境,为流体萃取成矿物质及维持络合物的稳定起到积极的作用(Vlassopoulos等,1990)。

(2)有机质官能团或杂原子直接与金属形成有机金属化合物(庄汉平等,2000)。

(3)有机质吸附金属颗粒或离子进行搬运(Disnar等,1990)。

(4)有机质(氧化还原电位为 0.5 V)还原多数金属氧化物(氧化还原电位大于 0.7 V),加速流体对成矿物质的萃取(Disnar等,1990)。右江盆地金矿流体包裹体 Rb-Sr 同位素年龄大于 172 Ma(向才富等,2002),即早侏罗世之前。由于所测定的是包裹体中的流体年龄,因而可以代表该区成矿流体的形成年龄。充分说明盆地流体是由初始流体→有机流体→有机成矿流体演化的。

演化过程中,也许有外部来源的流体加入,但不能改变成矿物质与烃类物质在同一流体体系中运移聚集的事实。流体究竟在何时何地演变为成矿流体亦有待深入研究,但是流体在输导体系中的水-岩反应也许是非常重要的,比较一致的看法是流体在聚集成藏之前已演变为成矿流体,目前油田勘探实践证明油田卤水与成矿流体在性质上并无本质的区别(Sverjensky,1984)。

2.2 运移路径

流体势决定了流体运移方向。由于受到上覆拗陷期沉积地层的负载,盆地中形成压实流,流体向盆地的边部和盆地内相对构造高部位运移。裂陷期由于同沉积断层活动,生物礁的外侧广泛发育浊积岩,这种断层与碎屑岩的组合成为盆地流体垂向运移的主要通道。生物礁核部周期性暴露形成的侵蚀不整合面及盆地裂陷期和拗陷期之间发育的区域性不整合面是盆地流体侧向运移的通道(向才富等,2000)。裂陷期和拗陷早期的压实流体沿以二叠纪生物礁为中心的断裂、岩性和不整合面组成三维流体输导体系运移(向才富等,2000)。盆地边部和盆地内部相对高地(如二叠纪生物礁的核部和侧翼)是盆地流体的聚集场所。右江盆地古油藏和金矿床均产出于二

叠纪生物礁的核部和翼部,亦间接地证明了这一点(向才富等,2002)。

3 有机质与成矿流体差异聚集

右江盆地成藏部位和矿床产出部位也存在不一致的情况。现代石油勘探虽然在原油中发现了异常高的金属含量,但油田并不总是与金属矿床共生,这主要是油气与成矿流体在运移过程中的差异聚集造成的。在盆地流体中,烃类流体由于其密度较盐水要小,一般在流体的顶部运移。成矿物质以水溶液及有机相的形式运移。烃类物与成矿物质在流体中存在形式上的差异决定了其差异聚集。右江盆地常见的两种圈闭类型说明烃类物质与成矿流体在空间上的差异聚集。同时,成矿流体与烃类在形成时间上的差异也导致了烃类物质与成矿物质在空间上的差异聚集。

3.1 背斜式圈闭

背斜式圈闭主要是指右江盆地广泛存在的二叠纪生物礁型圈闭。二叠纪生物礁是流体运移聚集的中心,假设盆地流体在向生物礁核部运移路径上存在 4 个圈闭(图 2-a)。在流体运移时,烃类首先在圈闭 A 聚集,气体位于圈闭的顶部,其下部依次为油、水。此后气驱油,油驱水依次向生物礁核部运移。如果油气供给适当,则最终可能是圈闭 A 为纯气藏,圈闭 B 为带气顶的油藏,圈闭 C 为纯油藏,而圈闭 D 则是成矿流体聚集的部位。当油气、流体供给充足或者不充足时,油气及成矿流体在 4 个圈闭中的聚集情况会有所变化,但是所遵循的原理是不变的。所以,在上述模式作用下,油气优先聚集在距生物礁核部较远的储层中,而成矿物质在油气的排驱作用下,将优先聚集在距离生物礁核部较近的圈闭中。由于烃类也是成矿物质的有效载体,油聚集的部位亦可能是成矿流体聚集的部位,如圈闭 C 是油藏,亦可能是成矿物质高度富集的圈闭。油气向生物礁核部运移的过程是减压和降温的过程,流体的性质会缓慢改变导致流体中所携带的成矿物质沉淀,在输导体系局部形成矿床。

3.2 断层岩性圈闭

断层岩性圈闭是对二叠纪生物礁外侧的同沉积断层和广泛发育的浊积岩组成的圈闭而言的。流体在沿这类输导体系垂向运移时(图 2-b),油气优先在圈闭 A 的顶部聚集,并阻碍了成矿流体沿输导体系的散失。当流体压力超过上覆盖层的封闭能力时,顶部的油气优先溢出,并在下一个圈闭的顶部聚

集,如此反复造成与背斜圈闭完全不同的差异聚集样式,即成矿流体多在远离生物礁核部的断层底部聚集,沿断层向上,依次为油、油气混合圈闭及气圈闭。由于流体突破上覆岩层的封堵并运移使流体的温压环境及流体的性质发生剧烈改变,流体所携带的成矿物质必然快速沉淀。同时流体的幕式活动为成矿物质的不断富集创造了条件,形成许多沿断层分布的藕节状富矿体。

3.3 时间效果

按生油窗 60~90℃ 计算,当烃源岩埋深在 2~3 km 时,油气已经开始了初次运移与二次运移(李

明诚,1994)。而右江盆地金矿流体包裹体 Rb-Sr 同位素测年结果表明,成矿流体的形成年龄在早侏罗世之前(向才富等 2002),可见烃类流体在成矿流体之前形成。对背斜圈闭来说,意味着成矿流体只能在更接近生物礁核部的圈闭中聚集(图 2-a)。由于右江盆地存在丰富的烃源岩,最可能出现的情况是成矿流体只能在生物礁的核部聚集,造成油气与成矿流体共处生物礁核部的效果。对断层岩性圈闭而言(图 2-b),由于流体的幕式活动会导致成矿产物的沉淀,成矿物质仍然首先在圈闭 A 中聚集。

成矿物质和烃类在空间上差异聚集,但是并不

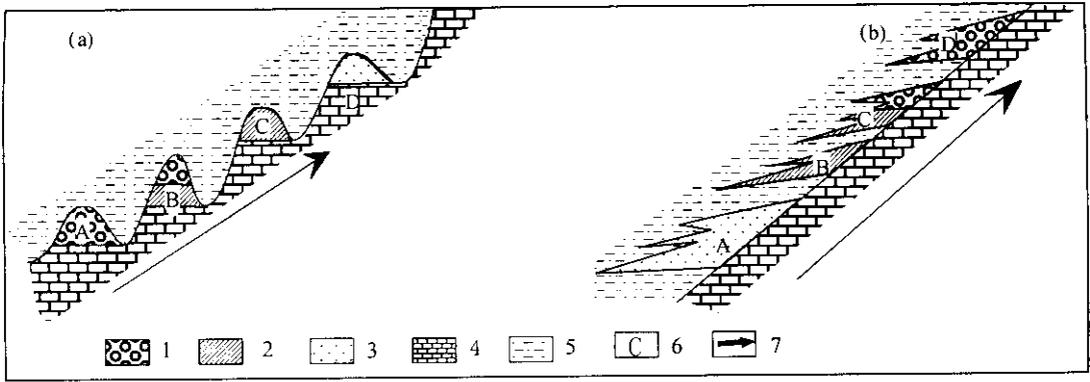


图 2 成矿流体与烃类物质差异聚集模式

Fig. 2 Differential concentration of ore-forming fluid and organic matter

a-背斜式圈闭 b-断层岩性圈闭 1-气藏 2-油藏 3-成矿流体藏 4-碳酸盐岩 5-隔水层 6-圈闭 7-流体运移方向

a-anticlinal trap b-fault-lithologic trap 1-gas pool 2-oil pool 3-ore-forming fluid pool 4-carbonate rock 5-aquifuge 6-trap 7-fluid flow direction

能改变二者均受盆地内流体势控制的事实,因此盆地范围内流体聚集地——二叠纪生物礁的核部及侧翼即是寻找油气藏和沉积型金属矿产的有利部位。

4 流体藏破坏与矿床形成

所谓的流体藏是烃类聚集所形成的油气藏及成矿流体所形成的成矿流体藏的总称。流体向生物礁核部运移是一个降温、减压过程,可以导致部分成矿物质的沉淀,但是能充分改变流体的性质,导致大部分成矿物质沉淀的原因是流体藏的破坏。其原因有外因与内因 2 种:外因主要为构造活动和风化剥蚀;内因主要指流体的幕式突破。

4.1 构造运动

构造运动使圈闭的盖层裂隙化,使流体迅速沿断层或裂隙上涌,由于压力的快速降低,使流体沸腾,成矿物质快速沉淀形成沿断裂分布的矿体,与背斜圈闭一起构成“背斜加一刀式”矿床,如金牙矿床与烂泥沟矿床。该区金矿形成于燕山期,燕山期构

造运动与流体藏的破坏密切相关。所有的赋矿断裂构造均形成于燕山期,说明燕山运动所产生的裂隙构造是流体散失的通道。

4.2 风化剥蚀

风化剥蚀也会缓慢使流体的温压降低,并沉淀矿质。这种情况下多形成披覆于二叠纪生物礁顶面的层状矿体,如戈塘金矿。戈塘金矿顶部的二叠纪煤系地层使该流体藏具有异常好的盖层条件,被构造破坏的可能性相对较小。推测主要是因受风化剥蚀使流体藏破坏,后期大气降水的渗入,形成层状氧化矿体。

4.3 流体幕式活动

流体的幕式突破(解习农等,1997)是流体温、压场突然降低的过程,往往在一瞬间完成,流体性质发生巨大改变,必然会导致某些成矿物质沉淀形成矿床。同时,流体的这种幕式突破使原来被盖层分割的上下两种流体混合,这种流体的混溶作用同样会极大地改变流体的性质,导致成矿物质的沉淀。流

体的一次突破会导致少量的矿质沉淀,反复进行就会导致成矿物质在流体压裂的顶部形成膨大的矿体,矿体由于流体幕式突破的反复进行而破碎严重,而流体幕式突破在空间上的迁移就会形成“藕节状”或者“透镜状”矿体(如金牙金矿)。

5 盆地流体成矿与成藏

通过上述分析可见,该区矿床与古油藏是同一盆地流体在其不同演化阶段的产物,成矿和成藏过程可归纳为图 3。成矿物质和成藏物质均来源于盆地裂陷期和凹陷期所沉积的地层,但侧重点有所不同,成藏物质主要来源于陆源碎屑岩,而成矿物质可由陆源碎屑岩与火山碎屑岩共同提供,右江盆地火山碎屑岩也许是更重要的成矿物质来源。陆源碎屑岩与火山碎屑岩在压实和古地温场的共同作用下排出的孔隙流体,是搬运该区成矿物质与有机质的主

要流体来源,其中或许混有其他来源的流体。

烃源岩排烃早,盆地流体首先演变为有机流体。富含有机质的盆地流体萃取火山碎屑岩与陆源碎屑岩中的成矿物质,逐渐演变为富含有机质的成矿流体。在流体势作用下,源于沉积地层的成矿物质和烃类在同一输导体系中向二叠纪生物礁核部及盆地边缘运移。成矿过程强调流体在运移过程中的水-岩相互反应,以及由此造成的对成矿物质的萃取作用,而成藏过程强调流体运移过程中对输导体系孔隙度和渗透率的改变。但是从流体运移的角度来说,溶蚀输导体系中的矿物,并对输导体系进行改造的过程,也是盆地中的流体逐渐演变成成矿流体的过程。由于盐水体系和油气的密度差异,成矿流体与烃类在不同的圈闭中差异聚集形成流体藏。这一过程在盆地拗陷期末之前完成。

流体在浮力的作用下沿断层、岩性输导体垂向

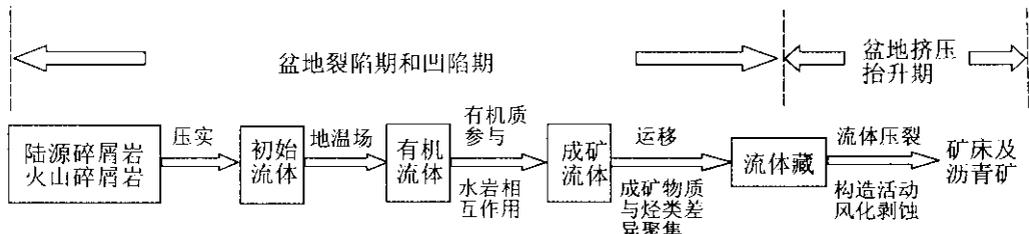


图 3 盆地流体演化与成藏-成矿示意图

Fig. 3 Schematic of petroleum accumulation and ore-forming process by basin fluid in different stages of evolution

运移时,由于流体幕式运移,会使成矿物质部分沉淀形成透镜状矿体。右江盆地自三叠纪末的漫长挤压抬升使该区流体藏遭受广泛破坏。流体藏破坏对流体性质的改变达到了极限,导致多种金属矿质从成矿流体中沉淀出来,形成该区以 Au 为主的多金属成矿省。由于构造活动的脉动性及流体活动的幕式性,流体藏亦被多次破坏,为成矿物质的富集提供了条件。油气藏破坏则形成该区金矿中的沥青质污染或沥青矿床。可见油气成藏过程强调流体的“储”、“盖”和“保”,而流体的成矿作用却总与引起流体性质发生巨大改变的流体散失密切相关,如流体的幕式突破。

参 考 文 献

陈衍景,张静,刘丛强等. 2001. 试论中国陆相油气侧向源. 地质论评, 47(3): 261~271.
何立贤,曾若林,林立青. 1993. 贵州金矿地质. 北京:地质出版社, 1~156.
李明诚. 1994. 石油与天然气运移. 北京:石油工业出版社, 1~127.

刘建明,叶杰,刘家军等. 2000. 论盆地流体成矿/成烃作用的耦合关系. 矿物岩石地球化学通报, 19(3): 164~171.
庞保成,林畅松. 2001. 右江盆地微细浸染型金矿的成因探讨. 地质与勘探, 37(4): 9~13.
邵树勋,张乾,潘家永. 1999. 丹寨汞矿床卤素元素与古油藏关系探讨. 地质地球化学, 27(4): 23~28.
涂光焯. 1998. 低温地球化学. 北京:科学出版社, 266.
向才富,庄新国,张文淮等. 2000. 成矿流体运移的输导体系研究——以右江地区微细浸染型金矿为例. 地质科技情报, 19(4): 65~69.
向才富,庄新国,陆友明等. 2002. 有机流体成矿作用与古油藏成藏作用的相互耦合——以右江盆地微细浸染型金矿为例. 地球科学——中国地质大学学报, 27(1): 35~39.
庄汉平,卢家栏,傅家谟等. 1998. 原油作为金运移的载体:可能的岩石学与地球化学证据. 中国科学(D), 28(6): 552~558.
中国石油地质志编写组. 1987. 中国石油地质志. 北京:石油工业出版社, 1~151.
解习农,王其允,李思田. 1997. 低渗泥质岩石中水力破裂与幕式压实作用. 科学通报, 42(19): 2193~2195.

References

Barnicoat A C, Henderson I H C, Knipe R J et al. 1997. Hydrothermal

- gold mineralization in the Witwatersrand basin. *Nature* 386 :820~824.
- Chen Yanjing , Zhang Jing , Liu Congqiang et al. 2001. The lateral source of the continental oil and gas of China : extension and application of the CPMF model. *Geological Review* ,47(3) :261~271 (in Chinese with English abstract).
- Disnar J R , Sureau J F. 1990. Organic matter in ore genesis : progress and perspective. *Org. Geochem.* ,16(1~3) :577~599.
- Garven S GE , Person M A , Sverjensky D A. 1993. Genesis of strata bound ore deposits in the Midcontinent basins of North America. *American Journal of Science* 293 :497~568.
- Giuliani G , Lanord C F , Cheilletz A et al. 2000. Sulfate reduction by organic matter in Colombian emerald deposits : Chemical and stable isotop(C O H) evidence. *Econ. Geol.* ,95(8) :1129~1153.
- Gustkiewicz M S , Kwiecinska B. 2001. Organic matter in the upper Silesian(Mississippi Valley-Type) Zn-Pb deposits. *Poland. Econ. Geol.* ,94(7) :981~992.
- He Lixian , Zeng Ruolin , Lin Liqing. 1993. Gold geology of Guizhou province , China. Beijing : Geological Publishing House , 1~156(in Chinese).
- Hulen J B , Collister J W. 2001. The oil-bearing carlin-type gold deposits of Yankee basin , Alligator Ridge district. Nevada. *Econ. Geol.* , 94(7) :1029~1050.
- Lee M K , Williams D D. 2000. Paleohydrology of the Delaware basin , western Texas : Overpressure development , hydrocarbon migration , and ore genesis. *AAPG Bulletin* 84(7) :961~974.
- Li Mingcheng. 1994. Petroleum and natural gas migration. Beijing : Petroleum Industry Press , 1~127(in Chinese).
- Liu Jianming , Ye Jie , Liu Jiajun et al. 2000. Oil accumulation and ore-formation. *Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry* ,19(3) :164~171(in Chinese with English abstract).
- Olson R A. 1984. Genesis of paleokarst and strata-bound zinc-lead sulfide deposits in a Proterozoic dolostone , northern Baffin Island , Canada. *Econ. Geol.* ,79 :1056~1103.
- Pang Baocheng , Lin Changsong. 2001. Genesis of fine-grained disseminated gold deposits in Youjiang basin. *Geology and Prospecting* 37(4) :9~13(in Chinese with English abstract).
- Shao Shuxun , Zhang Qian , Pan Jiayong. 1999. A discussion of the relation between halogen elements of Danzhai mercury-gold deposit and palaeo-oil pool. *Geology-Geochemistry* 27(4) :23~28(in Chinese with English abstract).
- Sverjensky D A. 1984. Oil field brines as ore-forming solution. *Econ. Geol.* ,79 :23~37.
- The Compile Group of Chinese Petroleum Geology. 1987. *Petroleum geology of China*. Beijing : Petroleum Industry Press , 1~151(in Chinese).
- Tu Guangzhi. 1998. *Low-temperature Geochemistry*. Beijing : Science Press , 76~266(in Chinese with English abstract).
- Vlassopoulos D , Wood S A , Mucci A. 1990. Gold speciation in natural waters : II . The importance of organic complexing-experiments with some simple model ligands. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 54(4) :1575~1586.
- Xiang Caifu , Zhuang Xinguo , Zhang Wenhui et al. 2000. Studies on the pass-way systems of the ore-forming fluids : according to the Carlin type gold deposits in Youjiang district. *Geological Science and Technology Information* ,19(4) :65~69(in Chinese with English abstract).
- Xiang Caifu , Zhuang Xinguo , Lu Youming et al. 2002. Formation of Carlin-type gold deposits by hydrocarbon fluid and its correlation to accumulation and dispersion of petroleum in Youjiang basin , South China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* 27(1) :35~39(in Chinese with English abstract).
- Xie Xinong , Wang Qiyun , Li Sitian. 1997. Hydrofracturing and seismic compaction of low permeability argillaceous rock. *Chinese Science Bulletin* ,42(19) :2193~2195(in Chinese with English abstract).
- Zhuang Hanping , Lu Jialan , Fu Jiamo et al. 1998. Crude oil as the carrier of gold during migration : possible lithological and geochemical evidence. *Science in China(series D)* 28(6) :552~558(in Chinese with English abstract).