

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

试论中国陆相油气侧向源

——碰撞造山成岩成矿模式的拓展和运用

陈衍景^{1,2)} 张 静¹⁾ 刘丛强²⁾ 何顺东³⁾

1) 北京大学地质学系, 100871; 2) 中国科学院贵阳地球化学研究所, 550002

3) 中国科学院地质地球物理研究所, 北京, 100029

内容提要 笔者根据我国陆相盆地富油、海相地层贫油、“盆小油量”、油气与金属—非金属矿床伴生等特点, 提出油气成藏物质侧向源的观点, 依据碰撞造山成岩成矿与流体作用模式(CPMF)分析盆山转变过程中流体产生、运移、有机—无机分离和富集的机制, 建立了盆山转换过程流体作用与油气侧向源模式。从油气田富集金属元素, 造山带金属矿床成矿流体含烃类等有机组分, 盆地沉积所堆积的有机质随盆山转换而形成油气, 现代油气盆地与造山带金属矿集区空间耦合等4个方面论证了油气成藏物质侧向源的客观性和流体运移成藏模式的科学性。讨论了中国陆相油气藏的形成和分布规律, 提出了今后油气勘查的方向。

关键词 陆相油气田 盆山转换 油气侧向源 低温热液金属矿床 碰撞造山成岩成矿模式 中国

一个正确的理论或模型, 应当得到各相关研究领域的证实, 或者适用于阐释不同领域的科学问题。基于碰撞造山带流体作用与成矿作用而建立的碰撞造山成岩成矿与流体作用模式(CPMF 模式: Model for collisional petrogenesis, metallogenesis and fluidization)(陈衍景, 1998), 虽然已经得到了关于造山带构造变形、地球物理性状、成矿作用(陈衍景等, 1992; 张复新等, 2000; 陈华勇等, 2000)、岩浆作用(陈衍景等, 2000)、流体演化(隋颖慧等, 2000)等研究资料的证实, 但能否有助于揭示油气形成和分布规律, 或者能否得到油气地质研究资料的证实, 至今尚未探讨, 值得补充。

大庆油田的发现和陆相生油理论的创立是中国学者对世界石油地质的重大贡献。笔者根据中国陆区碰撞造山带与相关陆相盆地耦合的特点, 以活动论学术思想为指导, 强调物质侧向运移或水平运动的意义, 提出油气侧向源的观点, 作为经典陆相生油理论的补充, 为寻求中国陆相油气形成和分布规律提供参考。

1 中国陆相油气田基本地质特征

中国石油地质工作者和地球化学家经过长期的勘探和研究, 发现了很多富有特色的规律(赵文智

等, 1999), 笔者现将与本文主题相关者简单列举如下:

(1) 陆相生油: 在中国, 中—新生代陆相沉积盆地极其发育, 陆相生油是重要的自然特点, 不仅大庆特大型油田等产于中—新生代陆相地层中, 克拉玛依油田、吐哈油田(陈建平等, 1999)、柴达木油田(黄汉纯等, 1989)、川中油田、胜利油田、大港油田、南阳油田和江汉油田等也都产于陆相沉积物中(黄第藩, 1986), 而且塔西南柯克亚凝析气田和塔西北库车牙哈等凝析气田也产于中、新生代陆相沉积物中(惠康耀等, 1999b)。

(2) 海相缺油: 虽然中国陆区广泛发育古生代及更早的海相地层, 并被认为是中国海相油气田的重要组成部分(关士聪, 1999), 但陆区的海相地层中尚未发现重要油田, 与世界著名大型油田多产于海相地层的规律明显不同, 显示中国陆区海相地层缺油的特征(待检验)。

(3) 盆小油量: 中国陆相油气盆地往往规模小, 但油量或气量大, 甚至实际油气储量大于估算的最大资源量, 具有“盆小油量”的特征。例如, 大庆油田、克拉玛依油田、库车气田、三肇地区的油田(迟元林等, 2000)等均有这一特征。周中毅等(1986)计算表明, 准噶尔盆地西北缘处于成熟期的生油层不

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 49972035, 49672119)、国家攀登预选39号项目、国家科技攻关305项目和教育部跨世纪人才基金项目成果。

收稿日期: 2000-07-28; 改回日期: 2000-12-20; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 陈衍景, 男, 1962年生。分别于1984年、1987年和1990年于南京大学地质学系获学士、硕士和博士学位。现为北京大学地质学系副教授。主要从事矿产资源研究。通讯地址: 100871, 北京大学地质学系; Email: yjchen@pku.edu.cn。

足以产生克拉玛依油田已探明的石油储量,应有其他油源。

(4) 油气多来源:盆小油量大的特点和勘查远景的评估都驱使中国学者深入研究油气来源问题(胡见义等,1991),除证实盆地生油层中的有机质转变成油气之外,甚至地幔流体也被认为对油气成藏有一定贡献(杜乐天,1996),显示油气成藏物质来源具有多来源的特征。

(5) 盆山空间耦合:中国是碰撞造山带和陆内造山带最为丰富和宏伟的国家(陈衍景,2000),因此陆相生油盆地以各种方式与造山带耦合,包括前陆盆地、山间盆地、山前盆地、上叠盆地等。例如,塔里木周边、准噶尔北缘、扬子北缘、柴达木北缘的盆地都属于前陆盆地,产有重要油田或天然气田;南阳油田属于秦岭山脉内部的上叠盆地;含大庆油田和吉林油田的松辽盆地被兴安岭、长白山等山脉合围,其基底构造不均匀,发育100~200Ma(峰值为130~150Ma)的火山岩、花岗岩和浅变质岩(胡见义等,1991),具有上叠盆地的特征;而吐哈盆地无疑属山间盆地。

(6) 与金属—非金属矿床伴生:涂光炽院士(1994,1998)多次论述油气矿床与金属热液矿床之间的共生关系,油气与成矿流体之间一系列类似的形成、运移和富集规律,如形成机制、生储盖组合、矿岩时差、成矿时代、控矿构造、沉积因素、迁移的驱动力、矿源岩等方面都极为相似。金属矿床、非金属矿床和油气藏三者之间具有共同的形成富集规律。

尽管中国陆相油气田的基本地质特征被揭示,但为什么会具有这些特征?这些特征之间有何内在联系?为什么国内外油气生成和分布存在如此大的差异?中国陆相油气藏的形成机制究竟如何?这些问题十分重要,具有特色和挑战性,因而被勘探学家和地球科学家所关注(涂光炽,1994;胡见义等,1991)。

笔者认为,单纯强调物质(油气)垂向运移的固定论思想会限制上述问题的解决。例如,关于油气的来源和运移,目前只是强调盆地生油层的油气甚至地幔流体的上升,而没有考虑盆边造山带提供油气的可能,因此不能圆满回答上述问题,更不能说明造山带中巨量变形变质沉积物所派生的油气的去向,也不能说明造山带富产热液矿床,造山带热液金属矿床中存在沥青和石油包裹体,油田中常富集金、汞、铀等金属元素和卤水等现象的原因。

鉴于上述,笔者尝试以强调物质侧向运移或水平运移的活动论思想为指导,借用 CPMF 模式来分

析流体产生、运移、有机—无机分离和富集的机制,探讨中国陆相油气田形成和分布的规律性。

2 盆山转换过程流体作用与油气成藏侧向源模式——理论分析

2.1 盆山转换过程中含油气流体产生和运移的机理

所谓盆—山转换,实际就是盆地地壳缩短、增厚而转变为造山带的过程,缩短增厚机制已被普遍揭示为一系列不同规模、不同层次、不同样式的广义陆内俯冲(陈衍景等,1992;陈衍景,1998)或 A 型俯冲。如此一来,研究盆山转换体制的流体作用也就转化为研究陆内俯冲体制的流体作用。

按照 CPMF 模式(陈衍景,1998),当俯冲板片俯冲到仰冲板片之下时,俯冲板片的压力和温度升高,原有的物质平衡必然被打破,因而发生物质调整,即改造作用、变质作用和部分熔融作用,以趋建立新的平衡。物质调整的结果势必使俯冲板片的不稳定组分或晶格能低的组分优先活化形成流体(含有机和无机组分),并以流体或熔体的形式向低压低温的上部(即仰冲板片)迁移,在仰冲板片发生流体与围岩的化学反应,从而使流体作用的特征被记录下来,并造成元素、岩石、矿床的规律分带(陈衍景,1998);而不易与围岩发生化学反应的烃类等有机组分则继续迁移,最终聚集在造山带内部的或两侧的盆地中,从而形成油气藏(图1)。在此过程中,未能沉淀的金属元素可随流体迁移到油气藏中;与此同时,有机流体在运移成藏过程中,萃取围岩中的金属元素并携带至油气藏中聚集。因此,油气藏往往富集卤族元素以及 As、S、Te、Sb、Hg、Au、Pb、Zn、U 等金属元素。

2.2 流体运移、分异与成矿、成藏

由于温度差、压力差及浓度差的影响,在深部产生的油气具有较高温度、压力,势必向温压较低的造山带浅部或两侧运移,并聚集在造山带顶部的上叠盆地、山间盆地和残留海盆地中,或者聚集在造山带两侧的山前盆地(前陆盆地、后陆盆地)中。需要补充说明,即使原油运移至造山带上部潜水面(或潜油面)之上时,仍可由于重力作用而沿构造带或透水层回到低洼盆地中(图1)。

在含油气流体的运移过程中,不可避免地发生以下变化:

(1) 有机组分的轻重分离:较重的有机组分

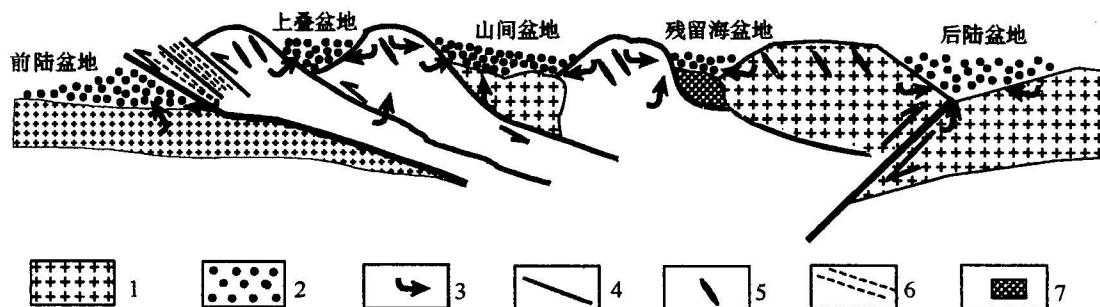


图1 碰撞体制或陆内俯冲之流体运移和油气侧向源模式

Fig. 1 Tectonic model of fluid migration and lateral source of oil-gas under collision or intracontinental subduction regime

1—陆壳;2—盆地沉积物;3—油气运移方向;4—断裂;5—热液矿床;6—冲断带;7—蛇绿岩套

1—Continental crust;2—basin sediment;3—migration direction of oil-gas;

4—fault;5—hydrothermal deposit;6—thrust belt;7—ophiolite suite

(如长链烃类、沥青等)容易滞留在岩石的孔隙和矿物颗粒之间,而较轻的短链组分(如甲烷)迁移能力较强,导致石油的重组分沿运移方向减少,轻组分相对增加,显示极性变化规律。

(2) 有机与无机组分的分离:含油气流体产生于深部较高的温压环境下,并活化萃取了大量金属—非金属成矿元素(多以络合物形式,如螯合物),随其向低温低压的浅部运移,多种物理化学条件(氧逸度等)发生改变,其中一些络合物变得不稳定并分解,使成矿元素沉淀富集在造山带内(可伴生沥青等);而剩余的流体,尤其是不与围岩发生化学反应而沉淀的油气,则继续沿断裂、裂隙、层理、孔隙等运移,直至汇入与造山带耦合的盆地,最终在稳定地点储集下来。因此,山里有固体矿产(金属、非金属等),盆里有流体矿产(油气、卤水、汞等)。

(3) 氧化还原反应与物质沉淀:流体运移过程的氧化还原反应、流体—围岩反应等十分普遍,导致围岩蚀变和固体矿产形成(刘伟,2000)。例如, CH_4 等轻烃可与流体中的 SO_4^{2-} 反应生成 CO_2 和还原态S(S^{2-} , HS^-)并放热(如: $\text{CH}_4 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$,放热率为76.60 kJ/mol)(施继锡,1991),还原硫易与金属元素反应生成硫化物沉淀,导致金属富集成矿(这是含有机包裹体矿物中常含大量 CO_2 包裹体的原因之一);而 CH_4 氧化放热导致含油气流体流经的围岩温度升高并蚀变(已被包裹体测温 and 根据沥青反射率推测的结果所验证)。

(4) 油气田富集低温成矿元素:在有机与无机组分分离及无机组分沉淀的过程中,某些低温元素(如汞、卤素等)并不能沉淀或不能完全沉淀,甚至以更稳定的配阴离子形式继续随油气迁移;而且,油气

在运移时还可活化萃取围岩中的低温成矿元素。上述两种原因导致油气田往往富集卤族元素(如油田卤水)和As、S、Te、Sb、Hg、Au、Pb、Zn、U等成矿元素。

可见,板片侧向俯冲派生了油气,而油气又通过多种途径由造山带侧向运移至储油盆地,此当属“油气侧向源”。而这一油气和无机组分合而分、分而合的过程,不仅反映了盆—山转换和山—盆耦合体制下流体、物质、能量交换的复杂过程,成矿成藏物质侧向源的重要性,侧向源与垂向源相互对立、转化、补充和统一的不可分割的关系;而且体现了造山与成盆的统一性,金属成矿与油气成藏的统一性,有机与无机地球化学作用的普遍性和依存性。

3 盆山转换体制流体成矿成藏侧向源模式的地质地球化学证据

前述表明,油气和固体热液矿床的成矿流体都形成于陆内俯冲或造山过程,只是在运移过程中发生了分离,固体矿床聚集在造山带,而油气聚集在与造山带空间耦合的盆地中。由于该观点属初次提出,尚无专门研究,因此无法提供大量直接证据,现简列如下现象,显示其可能性。

3.1 现代油气田高度富集金属成矿元素

油田高度富集金属成矿元素的实例已有大量报道,几乎所有油田都富集低温金属成矿元素和卤素等,符合上述理论分析的侧向源油气田特征,显示至少部分现代油气田具有侧向源油气的加入。

(1) 国外油田富集成矿元素的实例:涂光炽(1994)曾介绍,从英国北海经过荷兰、德国到波兰北部,存在一个很大的二叠纪油气田,仅在德国北部油

气田中汞含量即可达4000~5000 t,相当于4~5个大型汞矿床(中国大型汞矿床的标准为1000 t)。据杜乐天(1996)介绍,在前苏联顿河—第聂伯拗陷喀尔巴阡、高加索等地,Hg与烃密切共生;尼日利亚重油的Au浓度非常高。

(2) 国内油气田富集成矿元素的实例:大庆油田原油的Au、Ag、Hg、Bi、Be、U、Re等元素含量明显高于陆壳丰度值(郭占谦,1998)(表1),Hg高出2个数量级,Re和Ag高出3个数量级。渤海湾某天然气田含Hg较高(何立贤等,1993)。表明有机流体和相伴无机矿化剂(F、Cl、H₂O、……)对金属成矿元素有强烈的富集作用。

表1 大庆油田中原油金属元素含量及其富集程度
(引自何立贤等,1993)

Table 1 Contents and enrichment of metallic elements in the Daqing oil-field (from He Lixian et al., 1993)

金属元素	大庆油田	中国陆壳
Au	7.0×10^{-8}	2.25×10^{-9}
Hg	1.2×10^{-6}	8.0×10^{-8}
Be	3.92×10^{-6}	4.4×10^{-6}
W	3.9×10^{-6}	2.4×10^{-6}
Re	2.1×10^{-7}	6.57×10^{-10} (全球)
Ag	1.1×10^{-5}	5.0×10^{-8}
Bi	8.1×10^{-7}	1.9×10^{-7}
U	9.5×10^{-6}	5.6×10^{-6}

(3) 油气田富集金属元素的普遍性:以金为例,表2中,国内外油气田的金含量普遍较高,一般是陆壳丰度值(1.8×10^{-9})的 $n \times 10^1 \sim n \times 10^3$ 倍,胜利油田个别油井的Au含量已达独立金矿的边界品位。而作为油气伴生元素和易采“矿石”的金属元素,其经济效益也应更为可观。

表2 部分油田原油中的金含量

Table 2 Gold content in several oil-fields of the world

油田	Au($\times 10^{-9}$)	资料来源
胜利	106	林清等, 1993
胜利	132	林清等, 1993
胜利	108	林清等, 1993
胜利	1000~2000	涂光炽, 1994
大庆	70	郭占谦, 1998
江汉	8	涂光炽, 1994
克拉玛依	6	涂光炽, 1994; 林清等, 1993
辽河	4~5	涂光炽, 1994
前苏联	380	林清等, 1993
朝鲜	9	林清等, 1993

(4) 油田卤水大量存在:现代油气田含有大量油田卤水(涂光炽,1994);江汉油田中大量发育油盐

(关士聪,1999),南阳盆地有大型碱矿发现。需要说明的是,卤水可活化、络合多种金属成矿元素,使油田富集金属元素。邵树勋等(1999)已经揭示古油田卤水是贵州丹寨汞金矿床成矿热液的主要来源。

不难设想,一旦油气田遭到破坏(如燃烧),其大量金属元素必定沉淀成矿。因此,古油藏位置应是寻找低温热液矿床的有利地带。

3.2 热液矿床中大量记录有机流体活动

矿床地球化学家在多种类型的热液矿床(如:MVT 铅锌矿、卡林型金矿、钨锡矿床)中发现了有机组分参与成矿作用的证据,甚至直接发现了石油包裹体(烃类或含烃包裹体)。一方面证明油气等有机组分确实与成矿流体一起活动;另一方面证明盆地转换不同阶段产生不同性质的有机流体,造山带变质沉积物中含有大量有机质,它们应能转化出大量油气。那么,盆地转化过程所派生的巨量油气迁移到哪里去了?它们不可能迁移到深处的下地壳或地幔中,也不可能全部逃入大气层(气体例外),又没滞集在造山带内部,因此只能大量迁移到与造山带空间耦合的盆地中,从侧向为盆地提供油源。

3.2.1 有机流体参与沉积矿床和沉积改造矿床的形成

有机质和有机流体参与生物沉积矿床、生物化学沉积矿床、砂岩型铜矿、VMS型和SEDEX型矿床(MVT 铅锌矿、黑矿)等形成的事实已被大量报道(涂光炽,1994;Kajiwar,1992;Simoneit,1988)。现举两个实例,分别说明陆相和海相盆地油气与成矿流体紧密相伴的规律。

据侯增谦等(1998)研究,冲绳海槽正在发生海底热水喷流(水温达320℃)和现代成矿作用,排泄通道沉积的脉状—网脉状Zn-Pb-Cu-Ba矿石之矿石矿物闪锌矿、石膏、重晶石、石英中发现了极度富气的包裹体,并存在两类相对独立而密切共生的CO₂—烃类流体和盐水流体。CO₂—烃类流体中含大量CH₄、C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆、C₃H₈、C₆H₆、CO₂(表3),成分与天然气田的流体包裹体成分相当。

塔里木盆地的叶城凹陷和松辽盆地北部的沉积物中,都发现了大量有机包裹体(王成等,1994;陶士振等,1998);而且,叶城凹陷晚白垩世—始新世地层随演化程度加深,有机包裹体的颜色逐渐变深,个体增大,包裹体类型由液态包裹体→气液包裹体→含沥青包裹体转变(陶士振等,1998)。表明盆地沉积物在向山脉转变过程中或者压实成岩—改造过程中具备产生油气的潜力。

表3 冲绳海槽热水沉积矿物流体包裹体
激光 Raman 分析(%mol)
(节引自侯增谦等, 1998)

Table 3 Laser Raman analysis of fluid inclusion
in minerals from hydrothermal sediments
in Okinawa Trough (%mol)
(cited from Hou Zengqian et al., 1998)

样号	160P		160G		160Z		160P
矿物	石膏		闪锌矿		石英		重晶石
相	液	气	液	气	液	气	液
H ₂ O					11.8		90.2
H ₂ S	12.5		8.5	12.5	8.3	9.6	
SO ₂		14.7	8.6	7.8		15.6	
N ₂							
H ₂		8.8					
CO ₂	50.8	55.3	20.1	48.3	79.9	58.5	7.8
CH ₄	17.4	10.1	13.8	7.7		11.0	2.0
C ₂ H ₂	10.8	3.1					
C ₂ H ₄		8.0	16.5	13.4		6.0	
C ₂ H ₆	8.3		12.3				
C ₃ H ₈			7.6	10.3		4.3	
C ₆ H ₆			12.6				

3.2.2 盆山转换过程中有机流体参与中低温热液矿床的形成

盆地沉积过程堆积了成矿元素、有机质和有机流体,为在盆山转换过程中成矿和成藏奠定了物质基础。因此,如果热液矿床的成矿流体源自富含有机质的沉积建造(尤其是碳硅泥岩建造),则矿床流体包裹体中往往含有大量 CH₄或其他有机组分,如天山望峰金矿(陈华勇等, 2000),滇黔桂和陕甘川地区的卡林型和类卡林型矿床(金、分散元素、汞镓等)(何立贤等, 1993; 胡受奚等, 1998; 张复新等, 2000); 相反,如果成矿流体来自含有有机质较少的太古宙绿岩带或岩浆弧火山岩建造,则矿床流体包裹体中

CH₄或其他有机组分的含量较低,如造山带型金矿床(Kerrick et al., 2000)。现以滇黔桂卡林型中低温热液矿床(Hg、Sb、Au、分散元素)为例,列举大量有机流体参与成矿的证据(施继锡等, 1987; 施继锡, 1991; 何立贤等, 1993; 林清等, 1993; 涂光炽, 1994, 1998; 胡受奚等, 1998; 邵树勋等, 1999; 韩至钧等, 1999; 庄汉平等, 2000):

(1) 矿体和蚀变围岩的有机碳含量为0.12%~19%,有机质以腐泥型为主,干酪根 $\delta^{13}\text{C} = -24.4\text{‰} \sim -29.04\text{‰}$,也显示腐泥型特征。

(2) 矿床含有大量有机包裹体,可见气态烃、液态烃、沥青(图2)、短链羧酸等。

(3) 在万山、铜仁、丹寨等汞矿和烂泥沟、紫木圪、丫他等金矿的赋矿围岩中发现大量沥青脉,丹寨汞矿的沥青脉与辰砂脉相互穿切(图3)。

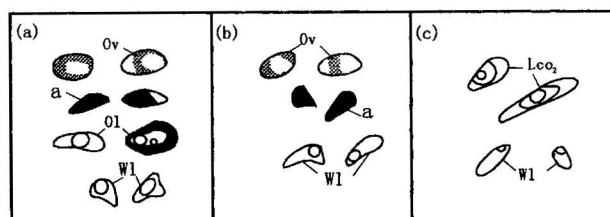


图2 中国西南部低温热液矿床中有机包裹体素描图
(引自涂光炽, 1998)

Fig. 2 Sketch of organic inclusion in the epithermal deposits in Southwest China (from Tu Guangchi, 1998)
(a)—围岩包裹体; (b)—贫矿包裹体; (c)—富矿包裹体; Ov—气态烃; Ol—液态烃; a—沥青; Lco₂—液态二氧化碳; Wl—盐水溶液
(a)—Inclusions in wall rock; (b)—inclusions in poor ore; (c)—inclusions in rich ore; Ov—gaseous hydrocarbon inclusion; Ol—liquid hydrocarbon inclusion; a—asphalt inclusion; Lco₂—liquid CO₂ inclusion; Wl—saline solution inclusion

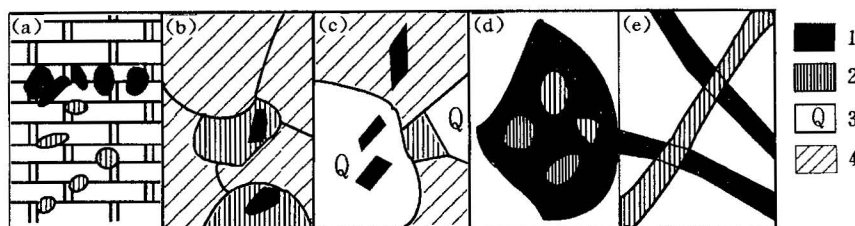


图3 丹寨汞矿区沥青与辰砂分布关系示意图(引自涂光炽, 1998)

Fig. 3 Sketch showing distribution of asphalt and cinnabar in the Danzhai mercury deposit (from Tu Guangchi, 1998)
(a)—沥青分布在储层上部; (b)—辰砂包裹沥青; (c)—石英、方解石包裹沥青; (d)—沥青孔中充填辰砂; (e)—辰砂脉穿插沥青脉;
1—沥青; 2—辰砂; 3—石英; 4—方解石
(a)—Asphalt in upper reservoir; (b)—asphalt within cinnabar; (c)—asphalt within quartz and calcite; (d)—cinnabar fulfilling into asphalt; (e)—cinnabar vein penetrating asphalt vein; 1—asphalt; 2—cinnabar; 3—quartz; 4—calcite

(4) 矿区沥青反射率介于1.76%~3.30%,推算温度在153~214℃之间,恰恰与矿石透明矿物包裹体均一温度范围(100~200℃)一致,略低于含沥青围岩的矿物包裹体均一温度范围(160~300℃)。

(5) 矿石和蚀变岩的卤族元素含量明显较高,与现代油气藏富集卤族元素的特征吻合。

(6) 矿集区与麻江、同仁等古油藏的空间位置和范围一致。

(7) 地层中有机碳含量与汞的相关系数为0.9411,与锑的相关系数为0.8587,而板其、丫他、金牙等金矿床中碳质物的金含量为 53.6×10^{-6} , 27.3×10^{-6} , 8.0×10^{-6} ,明显高于矿石品位。

以上表明,热液矿床曾与古油藏共存,古油藏已被破坏(仍有油苗存在),古油藏破坏事件为燕山运动,沥青、辰砂、金等均为古油藏破坏后的固体残留物。

3.2.3 造山带构造—岩浆演化过程中有机流体参与中高温热液矿床的形成

沉积物经历了中低温阶段的改造—变质之后,大量有机质和低温成矿元素已经以油气或成矿流体的方式迁移出去。再经受中高级变质甚至部分熔融时,所产生的流体或熔体中已很难存在较多的有机组分,只能产生高温元素的矿化,保存少量高温条件才能稳定的有机成分。尽管如此,曾贻善等(2000)经过细致的研究,在赣南西华山黑钨矿—石英脉和荡坪似伟晶岩脉型 W—Be 矿床的石英流体包裹体中发现了短链羧酸的存在。羧酸的存在反映了有机质过成熟阶段的有机流体演化及其对中高温金属成矿元素富集的意义。

3.3 成矿和成藏的等时性及其与盆山转换的同时性

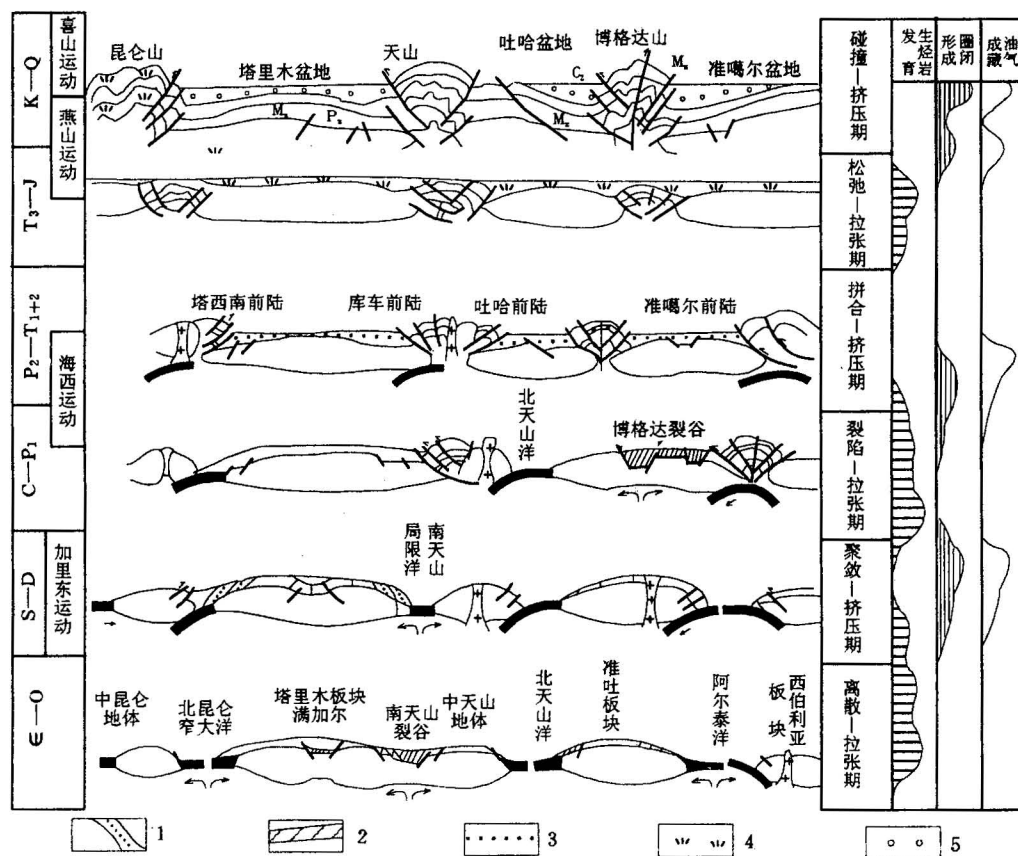


图4 新疆地区板块构造演化与油气成藏对应关系示意图(引自胡见义等,1996)

Fig. 4 Relationship between plate tectonic evolution and formation of oil-gas fields in Xinjiang (from Hu Jianyi et al., 1996)

1—被动陆缘沉积; 2—裂谷沉积; 3—前陆沉积; 4—泛盆地沉积; 5—山前磨拉石堆积

1—Sediments at passive continental margin; 2—sediments at rift area; 3—foreland sediments;

4—lacustrine sediments; 5—submountane molasses

3.3.1 现代盆山转换系统与油气成藏——以中国西北地区为例

印度次大陆与欧亚大陆的碰撞造就了世界屋脊喜马拉雅—昆仑—帕米尔山脉,使地域广阔而内部结构复杂的中亚型造山带地区发生强烈的陆内造山作用,导致盆地A型俯冲到造山带之下,形成了新生代盆山转换体系,使盆地或其部分构造单元具有前陆盆地特征(惠荣耀等,1999a;赵文智等,1999;魏国齐等,2000),如焉耆盆地、库车盆地、克拉玛依盆地、叶城盆地等。在此过程中,不可避免地发生图1所示的油气产生和运移聚集作用。胡见义等(1996)研究揭示塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木等盆地的油气藏及其圈闭构造都主要形成于新生代盆山转换过程(图4)。胡见义等(1996)还分析了古生代以来西北地区的盆山演变,发现每次拉张事件总有生烃岩发育,而每次挤压造山事件总导致油气生成(图4),与笔者前面分析的盆山转化体制流体作用和油气形成规律一致。例如,海西末期的多块体拼合造山作用造就了中亚型造山带,爆发了多种类型的固体矿床大规模形成(陈衍景,2000),同时也有大量油气生成(图4)。

3.3.2 古盆山转换系统与油气藏的形成和破坏——以华南中生代为例

西北地区海西期盆山转换系统曾有大量油气形成和破坏(燃烧或重就位)(张光亚等,1998),而贵州等地低温热液矿床密集区与古油藏的空间套合则提供了更好的实例。

贵州中三叠统及其更老地层中曾发现一些油气苗及沥青,标志着古油藏或残余油藏的存在。正是在古油气藏被破坏的地区,金—锑—汞矿床大量发现,烂泥沟超大型金矿位于赖子山古油藏北缘,铜仁—凤凰汞矿带位于铜仁和万山古油藏内(图5)。韩至钧等(1999)确定金成矿与右江印支—燕山碰撞造山热事件相匹配,是燕山运动的产物;同时,古油藏的形成和破坏也被认为发生在燕山期(涂光炽,1998)。以上显示碰撞造山、油气形成和破坏、中低温热液矿床大规模形成事件的同步发生,即三位一体。

3.4 成矿与成藏空间耦合及山脉—盆地空间耦合

3.4.1 盆山转换体系的山脉—盆地空间耦合

山盆空间耦合是油气侧向源的基础,而这一基础被现代盆山空间格局所证实。大量地质和地球物理资料表明,作为统一区域构造背景和动力学体系的产物,盆地及其内部构造单元的发生发展与外缘造山带的演化是一个耦合系统(翟光明等,2000)。图4显示了中国西北地区现代盆地—山脉之间地貌和

构造耦合特征。

丁道桂等(1996)指出:无论是现今的造山带,还是克拉通,都曾是沉积盆地,只是经受了后期改造和变形;必须将沉积盆地与周边造山带作为时空演化的统一体来研究;盆缘造山带的形成、抬升、逆冲推进的过程,也是前陆盆地的形成、迁移、改造变形,以及油气形成、聚集和再分配的过程。

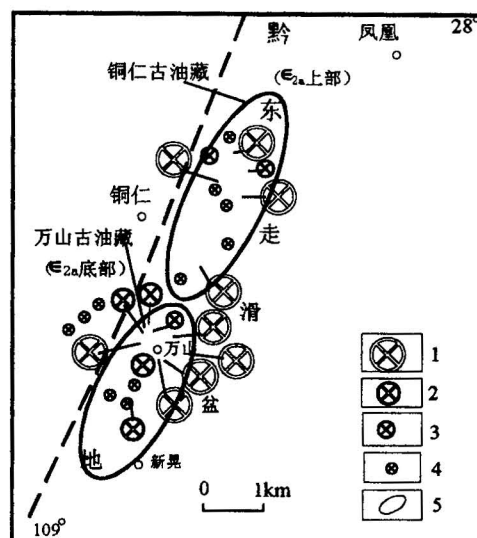


图5 贵州东部古油藏与汞矿带的分布关系(引自涂光炽,1998)

Fig. 5 Spatial coherence of the paleo-oil field and the mercury ore belt in eastern Guizhou (from Tu Guangchi, 1998)

- 1—大型汞矿床;2—中型汞矿床;3—小型汞矿床;
4—汞矿点;5—古油藏范围
1—Large Hg deposit;2—medium Hg deposit;
3—small Hg deposit;4—Hg ore occurrence;
5—space of paleo-oil field

3.4.2 盆山转换过程中油气成藏与金属成矿的空间耦合

(1)现代油气田中金属成矿元素与油气共存,反映了油气与金属元素在空间上的耦合特征。

(2)古油藏与中低温热液金属矿床的空间叠合。例如,美国密西西比铅锌矿被认为是油田卤水所形成,中国西南地区低温热液矿床与古油藏的破坏有关(涂光炽,1998),其中,万山—铜仁古油藏中产有中国最大的汞矿带,丹寨古油藏正是三都—丹寨汞锑金矿带的位置,麻江古油藏则有贵州最大的铅锌矿(何立贤等,1993)。

(3)油气盆地与造山带金属矿床的空间耦合。塔里木盆地北缘发育萨瓦亚尔顿—金窝子金矿带,吐

哈盆地南缘发育康古尔—马头滩金矿带,准噶尔盆地北缘发育额尔齐斯金矿带,松辽盆地北缘为金铜矿带,南阳盆地东、西、北边缘均有大量金、银、铜、汞、锑、铅、锌等矿床分布。

4 盆山转变过程中油气侧向源模式的例证和运用

前面论证了盆山转变系统油气侧向源的客观性和科学性。下面则通过示例,说明油气侧向源模式的重要性,并试图解释一些疑难问题。

4.1 盆小油量大的原因——克拉玛依油田和库车盆地的油气侧向源

克拉玛依油田及其邻区的石油储量大于盆地处于成熟期生油层所能产生的油量,故部分石油可能来自周围地层的提供(惠荣耀等,1999b)。而周围地层的石油只能通过侧向运移聚集到储油盆地。准噶尔盆地的地质构造和地球物理资料显示其倾斜下插到阿勒泰山脉之下,而克拉玛依油田恰恰位于准噶尔盆地与阿勒泰山脉的边缘地带。克乌(克拉玛依—乌尔)大型推覆构造圈闭了克拉玛依油田(图6),推覆体下伏石炭系生油层由于侧向俯冲而派生油气,油气向克乌断裂带运移聚集;同时,阿勒泰造山带内的沉积物发生改造而形成的油气也会沿断裂带运移至克乌断裂带。如此一来,侧向油源使得克拉玛依油田的石油储量自然多于单据盆地生油层派生油气计算的最大资源量。

库车盆地中发现了巨型天然气田,盆小气量大的特点突出,原因是塔里木北缘含煤地层陆内俯冲到天山之下,不断派生凝析天然气,为库车盆地提供了丰富的侧向气源。

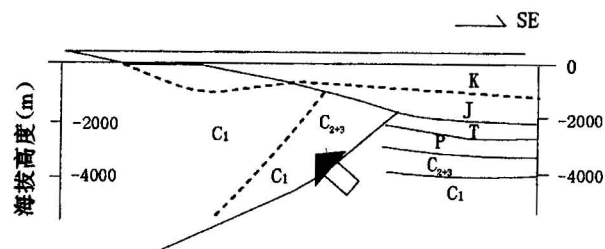


图6 红山嘴—车排山地区冲断构造及其对油气形成的控制(箭头示油气运移方向)
(引自黄第藩,1986)

Fig. 6 Thrust structure and its controlling on oil—gas field in the Hongshanzui—Chepaishan area (arrow showing migration of oil—gas)
(from Huang Difan, 1986)

4.2 中国陆区海相地层缺油和陆相生油的原因

中国石油储量的87%产于中、新生界(查全衡等,1999);工业油田以陆相为主,典型海相来源的原油较少,其原因是中国陆区经历了古生代以来的强烈碰撞造山和陆内造山作用(戴俊生等,2000;李鹏武等,2000)。

古生代末,古特提斯洋呈西窄东宽的喇叭形,中国各主要陆块主要处于开口最大的区域,决定其必定经历后期强烈的碰撞作用。中、新生代,古特提斯洋关闭,中国陆区形成多条碰撞造山带和其包围的诸多陆相盆地。碰撞使先存海相地层改造—变质,使先成油气转移或破坏,导致古生代或更老地层中难以发现重要油气藏,仅保存少量残余油藏(如贵州地区)或者残留沥青(如塔里木盆地志留系中的沥青,胡见义等,1996)以及中低温热液金属矿床等(如贵州卡林型金矿)。

中、新生代,中国陆区基本缺失海相地层,广泛发育陆相盆地,故不可能再形成海相油气藏。相反,先成海相油气藏也会被碰撞造山事件所破坏或转移,重就位于造山带环抱的陆相盆地内;而且,中、新生代的陆相盆地转换体制下所形成的油气也会聚到陆相盆地。因此,中国陆区以陆相生油为特色。

4.3 中国主要储油盆地类型和油气勘查前景和方向

早期海相盆地被中、新生代碰撞事件所破坏,主要储油盆地是与碰撞造山带耦合的陆相盆地,其中山前盆地(前陆盆地和后陆盆地)、山间盆地、上叠盆地等是优势储油盆地类型(赵文智等,1999;魏国齐等,2000)。油气侧向源和垂向源都使前陆盆地成为最佳聚集带,因此中国重要油气田的勘查突破往往始于前陆盆地,例如克拉玛依油田、焉耆油田、库车气田等。考虑到中国陆区构造微陆块与造山带镶嵌的大地构造特点,山间盆地也较重要,其储油潜力较大,如柴达木盆地、吐哈盆地等。由于中国碰撞造山带特别发育,上叠盆地也较发育,因此上叠盆地应为重要储油盆地,如松辽盆地的大庆油田已探明储量为52.6亿吨(截止1995年底),盆地内部曾发生地体碰撞(李晶,1992),基底内发育中生代花岗岩和火山岩,应属于碰撞带上叠陆相盆地;事实上,南阳盆地也具有同样特征。

基于对于油气侧向源的提出和论证,结合中国大地构造演化特征,认为中国今后的油气勘查重点应放在塔里木边缘的前陆盆地(库车、塔西南等)、准噶尔南缘前陆盆地、六盘山前缘前陆盆地(康竹林

等,1995;魏国齐等,2000);天山、阿尔泰山、祁连山中的中小型山间盆地,如伊犁、焉耆、尤尔都斯、库米尔、精河、库普、民和、雅不赖等(张文昭,1996);大别山—秦岭—祁连山脉两侧的山前盆地,华北南缘的后陆盆地。特别强调,柴达木盆地兼有前陆盆地、山间盆地和造山带上叠盆地的性质,应有大量盆山转换体制的侧向源油气聚集到盆地中,具有巨大的找油前景。

笔者曾与高锐、吴朝东、郭召杰、周瑶琦、郑海飞、曾凡刚、张福勤、肖文交、周凤英博士等进行了讨论,受益匪浅,特此致谢。

参 考 文 献

- 陈华勇,鲍景新,张增杰,等. 2000. 新疆望峰金矿成矿物质和流体来源同位素示踪: 碰撞造山成矿作用研究示例. 中国科学(D辑), 30(增刊): 45~56.
- 陈建平,黄第藩,李晋超,等. 1999. 吐哈盆地侏罗纪煤系油气主力源岩探讨. 地质学报, 73(2): 140~152.
- 陈衍景. 1998. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制. 地学前缘, 5(增刊): 109~118.
- 陈衍景. 2000. 中国西北地区中亚型造山—成矿作用的研究意义和进展. 高校地质学报, 6(1): 17~22.
- 陈衍景,富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 234.
- 陈衍景,李超,张静,等. 2000. 秦岭钼矿带斑岩体锶氧同位素特征与岩石成因机制和类型. 中国科学(D辑), 30(增刊): 64~72.
- 迟元林,萧德铭,殷进垠. 2000. 松辽盆地三肇地区上生下储“注入式”成藏机制. 地质学报, 74(4): 371~377.
- 戴俊生,曹代勇. 2000. 柴达木盆地新生代构造样式和演化特点. 地质论评, 46(5): 455~460.
- 丁道桂,王道轩,刘伟新等. 1996. 西昆仑造山带与盆地. 北京: 地质出版社, 230.
- 杜乐天. 1996. 烃碱流体地球化学原理. 北京: 科学出版社, 552.
- 关士聪. 1999. 中国海相、陆相和海洋油气地质. 北京: 地质出版社, 260.
- 郭占谦. 1998. 关于松辽盆地北部油气勘探如何突破的思考. 大庆石油地质与开发, 17(5): 1~7.
- 韩至钧,王砚耕,冯济舟,等. 1999. 黔西南金矿地质与勘查. 贵阳: 贵州科技出版社, 1~146.
- 何立贤,曾若兰,林立青. 1993. 贵州金矿地质. 北京: 地质出版社, 130.
- 侯增谦,张绮玲. 1998. 冲绳海槽现代活动热水区 CO₂—烃类流体: 流体包裹体证据. 中国科学(D辑), 28(2): 142~148.
- 胡见义,黄第藩. 1991. 中国陆相石油地质理论基础. 北京: 石油工业出版社, 322.
- 胡见义,赵文智,钱凯,等. 1996. 中国西北地区石油天然气地质基本特征. 石油学报, 17(3): 1~11.
- 胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京: 科学出版社, 1~343.
- 黄第藩. 1986. 陆相生油研究史略. 见: 有机地球化学和陆相生油. 北京: 石油工业出版社, 1~21.
- 黄汉纯,周显强,王长利. 1989. 柴达木盆地构造演化与石油富集规律. 地质论评, 35(3): 314~323.
- 惠荣耀,丁安娜,胡园艺,等. 1999a. 中国西部主要沉积盆地成烃

- 地质特征. 新疆石油地质, 20(1): 10~14.
- 惠荣耀,丁安娜,曾宪斌. 1999b. 中国西部主要沉积盆地油气形成特征. 新疆石油地质, 20(2): 83~89.
- 康竹林,翟光明. 1995. 中国的前陆盆地与油气聚集. 石油学报, 16(4): 1~8.
- 李晶. 1992. 关于松辽盆地内部地体碰撞的探讨. 大庆石油地质与开发, 11(3): 1~5.
- 李朋武,崔军文,高峻,等. 2000. 柴达木地块与喜马拉雅地体间早白垩世以来南北向缩短量的估算. 地质论评, 46(6): 569~572.
- 林清,傅家谟,刘德汉,等. 1993. 油气演化与一些金矿床成因的关系. 地球化学, 22(3): 217~225.
- 刘伟. 2000. 造山过程中流体—岩石相互作用和质量传输的评述. 地质论评, 46(4): 371~383.
- 邵树勋,张乾,潘家永. 1999. 丹寨汞金矿床卤素元素与古油藏关系探讨. 地质地球化学, 27(4): 23~28.
- 施继锡,李本超,傅家谟,等. 1987. 有机包裹体及其与油气的关系. 中国科学(B辑), 17(3): 318~326.
- 施继锡. 1991. 黔东南汞有机成矿作用的有机包裹体研究. 矿物学报, 11(4): 341~345.
- 隋颖慧,王海华,陈华勇,等. 2000. 河南铁炉坪银矿成矿流体研究及其对碰撞造山流体成矿模式例证. 中国科学(D辑), 30(增刊): 82~90.
- 陶士振,刘德良,杨晓勇,等. 1998. 塔里木盆地叶城凹陷成岩包裹体及其油气意义. 石油学报, 19(3): 38~45.
- 涂光炽. 1994. 成煤、成油、成气、成盐和成金属矿之间的关系. 有色金属矿产与勘查, 3(1): 1~3.
- 涂光炽. 1998. 低温地球化学. 北京: 科学出版社, 266.
- 王成,宋桂霞,刘振文. 1994. 松辽盆地北部自生矿物包裹体研究及应用. 大庆石油地质与开发, 13(4): 19~22.
- 魏国齐,贾承造,施央申,等. 2000. 塔里木新生代复合再生前陆盆地构造特征与油气. 地质学报, 74(2): 123~133.
- 曾贻善,刘家齐. 2000. 花岗伟晶岩石英流体包裹体中的短链羧酸. 地球化学, 29(1): 77~80.
- 查全衡,韩征,刘殿升. 1999. 中国石油地质的若干特点及其对储量增长的影响. 石油学报, 20(5): 1~6.
- 翟光明,王建军. 2000. 论油气分布的有序性. 石油学报, 21(1): 1~9.
- 张复新,陈衍景,李超,等. 2000. 秦岭造山带金龙山—丘岭金矿床地质地球化学特征及成因: 秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制. 中国科学(D辑), 30(增刊): 73~81.
- 张光亚,宋建国. 1998. 塔里木克拉通盆地改造对油气聚集和保存的控制. 地质论评, 44(5): 511~521.
- 张文昭. 1996. 中国西部大油气田勘探方向与目标选择. 大庆石油地质与开发, 15(4): 1~6.
- 赵文智,何登发,宋岩,等. 1999. 中国主要含油气盆地石油地质基本特征. 地质论评, 45(3): 232~240.
- 周中毅,盛国英. 1986. 准噶尔盆地的油源层和古地温. 见: 地球化学文集. 北京: 科学出版社, 178~184.
- 庄汉平,卢家烂,傅家谟,等. 2000. 黔西南卡林型金矿床中固体有机物质的有机岩石学研究. 地质科学, 35(1): 83~90.

References

- Chen Huayong, Bao Jinxin, Zhang Zengjie, et al. 2000. Isotope indication to source of ore materials and fluids of the Wangfeng gold deposit in Tianshan: a case study of metallogenesis during collisional orogenesis. Science in China (Series D), 43(Supp.): 156~

- 166.
- Chen Jianping, Huang Difan, Li Jinchao, et al. 1999. Main source rocks of petroleum from Jurassic coal-bearing strata in the Turpan-Hami basin, Northwest China. *Acta Geologica Sinica*, 73 (2): 140~152(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing. 1998. Constraints and their mechanism on the petrogenic and metallogenic model for collision orogenesis. *Earth Science Frontiers*, 5(Supp.): 109~118(in Chinese).
- Chen Yanjing. 2000. Progress in the study of Central Asia-type orogenesis-metallogenesis in Northwest China. *Geological Journal of China Universities*, 6(1): 17~22(in Chinese).
- Chen Yanjing, Fu Shigu. 1992. Gold Mineralization in West Henan. Beijing: China Seismological Press, 234(in Chinese).
- Chen Yanjing, Li Chao, Zhang Jing, et al. 2000. Sr and O isotopic characteristics of porphyries in the Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type. *Science in China(Series D)*, 43(Supp.): 82~94.
- Chi Yuanlin, Xiao Deming, Yin Jinyin. 2000. The injection pattern of oil and gas migration and accumulation in the Sanzhao area of Songliao basin. *Acta Geologica Sinica*, 74(4): 371~377(in Chinese with English abstract).
- Dai Junsheng, Cao Daiyong. 2000. Evolution characteristics of Cenozoic structural style in the Qaidam basin. *Geological Review*, 46 (5): 455~460(in Chinese with English abstract).
- Ding Daoqui, Wang Daoxuan, Liu Weixin, et al. 1996. The Western Kunlun Orogenic Belt and Basin. Beijing: Geological Publishing House, 230 (in Chinese with English abstract).
- Du Letian. 1996. Geochemical Principles of Hydrocarbon Alkali-fluid (Reconstruction of Hydrothermalism and Magmatism Theory). Beijing: Science Press, 552(in Chinese with English abstract).
- Guan Shicong. 1999. Marine-facies, Terrestrial and Offshore Petroleum Geology of China. Beijing: Geological Publishing House, 260(in Chinese).
- Guo Zhanqian. 1998. Reflect on how to make a breakthrough in hydrocarbon exploration in north part of Songliao basin. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 17(5): 1~7(in Chinese).
- Han Zhijun, Wang Yangeng, Feng Jizhou, et al. 1999. Geology and exploration of sediment-hosted disseminated gold deposits in southern Guizhou. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1~146(in Chinese).
- He Lixian, Zeng Ruolan, Lin Liqing. 1993. Geology of gold deposit of guizhou. Beijing: Geological Publishing House, 130(in Chinese).
- Hou Zengqian, Zhang Qiling. 1998. CO₂-hydrocarbon fluid at modern hydrothermal district in Okinawa Trough: Evidence from fluid inclusion. *Science in China (Series D)*, 28(2): 142~148(in Chinese).
- Hu Jianyi, Huang Difan. 1991. The Bases of Nonmarine Petroleum Geology in China. Beijing: China Petroleum Industry Press, 322 (in Chinese).
- Hu Jianyi, Zhao Wenzhi, Qian Kai, et al. 1996. Fundamental characteristics of petroleum geology in NW China. *Acta Petrolei Sinica*, 17(3): 1~11(in Chinese).
- Hu Shouxi, Wang Henian, Wang Dezi, et al. 1998. Geology and Geochemistry of Gold Deposit in East China. Beijing: Science Press, 1~343(in Chinese).
- Huang Difan. 1986. A review studies of the origin of oil from continental deposits. *Organic Geochemistry and Origin of Continental Oil Traps*. Beijing: China Petroleum Industry Press, 1~21(in Chinese).
- Huang Hanchun, Zhou Xianqiang, Wang Changli. 1989. Tectonic evolution of the Qaidam basin and the regularity of oil accumulation. *Geological Review*, 35(3): 314~323(in Chinese with English abstract).
- Hui Rongyao, Ding Anna, Zeng Xianbin. 1999a. Hydrocarbon generation characteristics of major basins in western China. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(1): 10~14(in Chinese).
- Hui Yaorong, Ding Anna, Hu Yuanyi, et al. 1999b. Geological characteristics of hydrocarbon generation in major sedimentary basins in western China. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(2): 83~89 (in Chinese).
- Kajiwaru Y. 1992. Intimate genetic relationship between Kuroko ores and crude oil from the Green Tuff region of Japan. 29th IGC Abstracts, 788.
- Kang Zhulin, Zhai Guangming. 1995. Foreland basins and their hydrocarbon potential in China. *Acta Petrolei Sinica*, 16(4): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, et al. 2000. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (Series D)*, 43(supp.): 1~68.
- Li Jing. 1992. Interat terrain collision of Songliao basin. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 11(3): 1~5(in Chinese).
- Li Pengwu, Cui Junwen, Gao Jun, et al. 2000. Longitudinal shortening amount between the Himalaya terrain and the Qaidam block since the early Cretaceous. *Geological Review*, 46(6): 569~572 (in Chinese with English abstract).
- Lin Qing, Fu Jiamo, Liu Dehan, et al. 1993. The evolution of oil and gas and the genesis of sedimentation reworked gold ore deposits. *Geochimica*, 22 (3): 217 ~ 225 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wei. 2000. Fluid-rock interaction and mass transfer during orogeny. *Geological Review*, 46(4): 371~383(in Chinese with English abstract).
- Shao Shuxun, Zhang Qian, Pan Jiayong. 1999. A discussion of the relation between halogen elements of Danzai mercury-gold deposits and paleo-oil pool. *Geology-Geochemistry*, 27(4): 23~28(in Chinese with English abstract).
- Shi Jixi, Li Benchu, Fu Jiamo, et al. 1987. The organic inclusions and its relationship to oil-gas. *Science in China (Series B)*, 17 (3): 318~326.
- Shi Jixi. 1991. On the relationship between organic matter and mercury mineralization in eastern Guizhou in special reference to organic inclusion data. *Acta Mineralization Sinica*, 11(4): 241~246(in Chinese).
- Simoneit B R T. 1988. Petroleum generation in submarine hydrothermal system: an update. *Canadian Mineralogist*, 26: 827~840.
- Sui Yinghui, Wang Haihua, Gao Xiuli, et al. 2000. Ore fluid of the Tieluping silver deposit of Henan Province and its illustration of the tectonic model for collisional petrogenesis, metallogenesis and fluidization. *Science in China (Series D)*, 43(supp.): 108~121.
- Tao Shizhen, Liu Deliang, Yang Xiaoyong, et al. 1998. A study on inclusions from the sedimentary rocks of upper Cretaceous to Miocene series and its significance for oil-gas geology in Artashi, Tarim basin. *Acta Petrolei Sinica*, 19(3): 38~45 (in Chinese with English abstract).

- Tu Guangzhi. 1994. The relationship of their forming among coal, oil, natural gas and metallic ore. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 3(1): 1~3(in Chinese with English abstract).
- Tu Guangzhi. 1998. *Low-Temperature Geochemistry*. Beijing: Science Press, 266(in Chinese).
- Wang Cheng, Song Guixia, Liu Zhenwen. 1994. Enclosure of authigenic mineral from northern part of Songliao basin and its application. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 13(4): 19~22(in Chinese).
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. 2000. Tectonic characteristics and petroleum prospects of Cenozoic compound rejuvenated foreland basins in Tarim. *Acta Geologica Sinica*, 74(2): 123~133(in Chinese with English abstract).
- Zeng Yishan, Liu Jiaqi. 2000. Short-chain carboxylates in fluid-inclusions from quartz in granite-pegmatite. *Geochimica*, 29(1): 77~80(in Chinese).
- Zha Quanheng, Han Zheng, Liu Diansheng. 1999. Characteristics of petroleum geology in China and their influences to reserve growth. *Acta Petrolei Sinica*, 20(5): 1~6(in Chinese with English abstract).
- Zhai Guangming, Wang Jianjun. 2000. The regularity of oil deposits' distribution. *Acta Petrolei Sinica*, 21(1): 1~9(in Chinese with English abstract).
- Zhang Fuxin, Chen Yanjing, Li Chao, et al. 2000. Geological and geochemical character and genesis of the Jinlongshan—Qinling gold deposits in Qinling orogen; Metallogenic mechanism of the Qinling-pattern Carlin-type gold deposits. *Science in China (Series D)*, 43(Supp.): 95~107.
- Zhang Guangya, Song Jianguo. 1998. Control of basin reworking on hydrocarbon accumulation and preservation in the Tarim cratonic basin, Northwest China. *Geological Review*, 44(5): 511~521(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenzhao. 1996. Exploration direction and target selection in large oil and gas field in western China. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 15(4): 1~6(in Chinese).
- Zhao Wenzhi, He Dengfa, Song Yan, et al. 1999. Fundamental characteristics of petroleum geology of major on-land petroleum-bearing basins in China. *Geological Review*, 45(3): 232~240(in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhongyi, Sheng Guoying. 1986. Source rocks and paleotemperature measurements, Junggar basin, Xinjiang. *Collected Work on Geochemistry*. Beijing: Science Press, 178~184(in Chinese).
- Zhuang Hanping, Lu Jialan, Fu Jiamia, et al. 2000. Organic petrological study on solid organic matter in two Carlin-type gold deposits in Southwest Guizhou, China. *Scientia Geologica Sinica*, 35(1): 83~90(in Chinese with English abstract).

The Lateral Source of the Continental Oil and Gas of China: Extension and Application of the CPMF Model

CHEN Yanjing^{1,2)}, ZHANG Jing¹⁾, LIU Congqiang²⁾, HE Shundong³⁾

1) *Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871*

2) *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002*

3) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

Abstract

On the basis of several geological facts, such as the continental basins are often rich in oil while the marine strata are lacking of significant oil fields, small inland basins contain rich oil and gas, and that oil and gas are associated with metallic—nonmetallic deposits, this paper suggests that a lateral oil—gas source may be responsible for the distribution and formation of oil and gas fields in the mainland of China. In the light of the CPMF model (model for collisional petrogenesis, metallogenesis and fluidization), the authors attempt to analyze the mechanism of the fluid generation and migration as well as fractionation and enrichment of its organic and anorganic components, and consequently, propose a model for fluidization and lateral oil—gas source during the transformation from basin to orogen. The objectivity and scientificity of this model are illustrated in four aspects, i. e. the intensive enrichment of metallogenic elements in the present oil—gas fields, the abundant discoveries of organic components such as hydrocarbons in ore fluids in the orogenic metallic ores, the production of oil and gas from the transformation of organic matter in sediments during the basin—orogen transformation, and the spatio-temporal coupling of oil-bearing basins and orogenic metallogenic provinces. Finally, laws in formation and distribution of the continental oil—gas fields in the mainland of China are discussed, and the direction for exploration of petroleum is pointed out.

Key words: continental oil—gas field; basin—orogen transformation; lateral source of oil—gas; epithermal metallic deposit; CPMF model; China