

油气成因二元论及其地质-经济意义

张少云^{1,2}, 真允庆^{1,2,3}, 汪 洋^{1,2},
陈国衡^{1,2}, 李忠华^{1,2,4}, 袁 杰^{1,2}, 巫 静^{1,2}

(1. 江苏省有色金属华东地质勘查局, 南京 210093;

2. 江苏省有色金属华东地质勘查局 814 队, 江苏 镇江 212005;

3. 中国冶金地质勘查工程总局 三局, 太原 030002; 4. 南京大学 地球科学系, 南京 210093)

摘 要: 文章分析了我国含油盆地的多旋回、二元结构、叠合盆地特征, 提出了“油气成因二元论”的观点, 认为石油和天然气既可由沉积有机质转化而成, 也可由来自地球深部流体中的无机物生成烃, 并列举出二元成烃八个方面的证据。油气成因二元论将对扩大找藏领域和深部找矿提供依据, 对丰富矿床学理论、创建油气矿产-金属矿床-非金属矿床的成矿系列具有重要意义。按照油气成因二元论的思路, 我国油气中的氢资源、金属元素将会在综合利用中获得巨大的经济效益。

关键词: 石油天然气; 成藏盆地; 油气成因二元论; 成矿(藏)系列; 氢资源; 金属元素; 综合利用
中图分类号: P618.130.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2009)04-0303-14

0 引言

石油和天然气的成因问题是石油地质学的前缘学科之一, 也是石油地质的热门话题。因为不仅涉及到油气成因理论的创新, 而且关系到深部油气的勘查方向和最大程度扩大能源储备的问题。对于油气成因, 除了“生物成因论”和“地幔成因论”之外, 尚有“地幔热柱成因论”、“宇宙尘石油雨成因论”、“地下放电发光成因论”、“古陨石坑成因论”等等^[1-6], 概括地说, 就是“有机”和“无机”的成因争论。

20 世纪中期, 我国大庆油田在陆相有机成因理论的指引下, 发现了世界上最大的中、新生代陆相油田, 突破了“中国贫油论”的束缚, 取得了辉煌的成绩。近年来由于我国冀东南堡大型油田、四川盆地普光大型海相油田、松辽盆地徐家园子油田火山岩气田的发现, 无疑是对单一的“生物成因论”提出了挑战。如何运用新的成因理论指导深部找油(气)成

为当务之急。

本文分析了我国含油盆地的多旋回、二元结构、叠合盆地特征, 提出了“油气成因二元论”的观点, 认为石油和天然气既可由沉积有机质转化而成, 也可由来自地球深部的无机物生成烃, 并列举出二元成烃八个方面的证据。油气成因二元论将对扩大找藏领域和深部找矿提供依据, 对丰富矿床学理论、创建油气矿产-金属矿床-非金属矿床的成矿系列具有重要意义。按照油气成因二元论的思路, 我国油气中的氢资源、金属元素将会在综合利用中获得巨大的经济效益。

1 区域成藏构造: 多旋回二元结构叠合盆地

我国隶属东北亚地区, 地质构造演化历史十分复杂。任纪舜等(2002)认为^[9], 在显生宙期间, 我国

收稿日期: 2009-07-11; 改回日期: 2009-11-17

基金项目: 大庆油田“海拉尔-塔本察格盆地及邻区断陷盆地分布、结构及上覆层的关系研究”项目资助。

作者简介: 张少云(1965-), 男, 湖南衡阳人, 高级工程师, 地球物理勘查专业。通信地址: 江苏省南京市大光路 26 号华东大厦; 邮政编码: 210093; E-mail: zsy6868@vip.sina.com

通信作者: 真允庆(1932-), 男, 江苏镇江人, 教授级高级工程师, 矿床学专业。通信地址: 江苏省镇江市朱方路 814 队; 邮政编码: 212005; E-mail: zhenyunqing1932@yahoo.com.cn

大地构造及其演化先后受古亚洲洋、特提斯- 古太平洋和印度洋- 太平洋三大动力系统控制。三大构造域之间相互叠合、相互过渡(图 1A), 所以我国广泛发育古生代(含震旦纪和三叠纪)海相地层, 应属于世界特提斯含油气域的范畴。多旋回构造变动是

海相地层发育区的重要特征, 如我国南方海相层序先后经历了 7 次地壳运动(桐湾运动、加里东运动、云南运动和东吴运动为地壳的频繁升降, 印支运动是以褶皱挤压作用为主, 燕山运动则为造山运动, 而喜山运动是以拉张为特征), 在西北、华北地区的海相地层发育情况亦很类似。

张厚福等^[10] 根据烃源岩发育及多旋回构造运动特征, 将南方海相层系划分为 3 个原生型油气系统: ①震旦纪—奥陶纪原生型油气系统: 形成的关键时间为 290 Ma 前, 至 135 Ma 前完全被改造成破坏型及次生型; ②志留纪—石炭纪原生型油气系统: 形成的关键时间为 235 Ma 前, 至 135 Ma 前完全被改造成残存型及次生型; ③二叠纪—三叠纪原生型油气系统: 形成的关键时间为 135 Ma 前, 至 65 Ma 前部分被改造成次生型及残存型。

上述 3 个原生型油气系统存在着成熟期的差异。但印支运动以来, 却经历了大致相似的构造背景。印支期—早燕山期的挤压变形阶段是震旦纪—奥陶纪原生型油气系统的重要改造时期, 也是志留纪—石炭纪原生型油气系统形成、二叠纪—三叠纪原生型油气系统开始形成的关键时期。而晚燕山期—喜山期全区表现为张性断陷性质, 不均匀地沉降显著, 震旦纪—奥陶纪油气系统被破坏, 故油苗增多, 志留纪—石炭纪原生型油气系统也被改造为次生型与残存型; 至白垩纪初期, 油气运移以侧向为主, 垂向次之, 故分布范围较大; 二叠纪—三叠纪原生型与演化型油气系统两者并存。特别是后者在白垩纪末期, 块断活动普遍, 油气运移以垂向为主, 侧向为辅, 分布分散, 埋藏较浅。

郭占谦^[11] 亦指出: 中国大陆是在四面地块受挤的地球动力学环境中, 地壳升降与挤压皆很显著, 火山活动与沉积作用相伴而生。因此形成二元“水、火”(沉积岩、火成岩) 结构地层的格架。演化至中—新生代, 由于岩石圈出现下拱上张的应力响应, 形成了众多中— 新生代裂谷型盆地(图 1B) 并叠合(或复合) 于前侏罗纪残留盆地之上, 具有多旋回沉积构造特征。在叠合含油盆地中为多期生烃、运聚成藏与调整改造的变化, 从而导致了多个含油系统的叠置、交叉与串通, 使含油系统的评价更为复杂^[12]。显而易见, 含油盆地的区域构造演化背景成为油气成因二元论的重要基础。

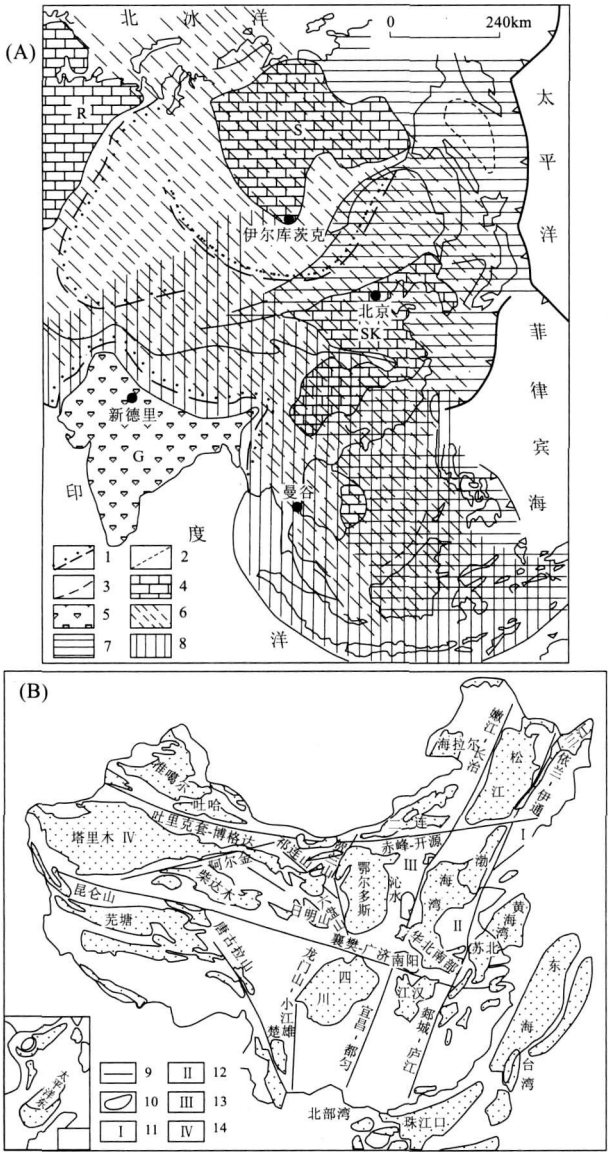


图 1 亚洲构造域(A)及中国油气田盆地分布(B)简图(任纪舜, 1999; 郭占谦, 2003)

Fig. 1 Tectonic region of Asia (A) and oil gas basin distribution in China (B)

- 1. 主要缝合带 2. 现代贝尼奥夫带 3. 构造分区界线 4. 劳亚大陆上的克拉通 5. 冈瓦纳大陆上的克拉通 6. 古亚洲构造域 7. 滨(环)太平洋构造域 8. 特提斯构造域 9. 地壳、岩石圈断裂 10. 盆地 11. 东部残留盆地群 12. 东部裂谷盆地群 13. 中部叠合盆地群 14. 西部新构造运动改造盆地群

2 油气成因二元论的地质依据

2.1 油气成分的依据

国际公认的有机成因石油的地球化学特征是: 含有卟啉与旋光性化合物的混合物, 以及奇碳原子优势。与此相反, 无机成因石油是以偶碳原子优势, 不见生物标志化合物、旋光性马卟啉等。这可从碳质球粒陨石中含一系列正构烷烃、局部显示碳原子优势^[13] 及瑞典锡利扬星巴陨坑的格拉夫堡 1 号井岩浆岩中发现正构烷烃^[14] 获得佐证。

从大庆油田 1 075 个原油色谱分析资料中, 不显奇偶优势的油样有 52 个(没有奇碳原子优势, 显偶碳原子优势), 这些样品均分布在基底断裂附近, 在层位上 79. 13% 的油样为下部含烃组合。此外,

海拉尔盆地的部分原油与大兴安岭的大杨树也见有不具奇偶优势的原油。塔里木盆地 4 井 808 m 含油玄武岩、巴东 2 井 4 299. 2 m 及 4 303. 5 m 油斑灰岩中正烷烃结构的奇碳原子优势不完善, 也说明具有无机成因油的贡献^[15]。

诚然, 石油中含有萜族化合物、萜烷、甾烷、藿烷等有机成烃为标志的重要成分, 但从郭占谦等(2002) 对松辽盆地、渤海湾盆地和塔里木盆地的原油进行测试, 除了见有生物(据 A. П. 维格拉多夫分析 6 000 种以上动植物) 化学成分外, 尚有生物中未见的元素, 它们是铍、锆、铌、镉、铟、锡、锑、碲、钼、钨、金、铈、铀、钍等 17 个元素(表 1), 其中的铼(Re) 只有在地核中赋存。郭占谦^[15, 16] 认为这些元素主要由来自地幔的热液携带至地壳参与有机物质热演化生油的。

表 1 中国石油中含有生物物质中未见的元素质量分数^[15]

Table 1 Element contents in crude oil in oil fields of China

元素	中国陆壳	大庆	辽河	大港	新疆	元素特性
Be	4. 4× 10 ⁻⁶	3. 9× 10 ⁻⁶	/	1. 0× 10 ⁻⁷	1. 5× 10 ⁻⁵	亲石元素
Zr	1. 6× 10 ⁻⁴	3. 9× 10 ⁻⁵	1. 1× 10 ⁻⁵	2. 6× 10 ⁻⁶	1. 0× 10 ⁻⁵	亲石元素
Nb	3. 4× 10 ⁻⁵	3. 7× 10 ⁻⁶	5. 8× 10 ⁻⁷	4. 2× 10 ⁻⁷	1. 0× 10 ⁻⁸	亲石元素
Ag	5. 0× 10 ⁻⁸	1. 1× 10 ⁻⁵	8. 3× 10 ⁻⁷	2. 6× 10 ⁻⁶	6. 4× 10 ⁻⁶	亲铜元素
Cd	5. 5× 10 ⁻⁸	4. 1× 10 ⁻⁵	/	9. 3× 10 ⁻⁶	1. 5× 10 ⁻⁶	亲铜元素
In	4. 2× 10 ⁻⁸	1. 1× 10 ⁻⁶	/	8. 7× 10 ⁻⁷	3. 0× 10 ⁻⁸	亲铜元素
Sn	4. 1× 10 ⁻⁶	4. 0× 10 ⁻⁴	/	2. 8× 10 ⁻⁴	6. 8× 10 ⁻⁶	亲铜元素
Sb	1. 5× 10 ⁻⁷	6. 6× 10 ⁻⁶	/	4. 4× 10 ⁻⁷	1. 2× 10 ⁻⁶	亲铜元素
Te	2. 0× 10 ⁻⁸	4. 7× 10 ⁻⁶	/	2. 1× 10 ⁻⁶	1. 4× 10 ⁻⁶	亲铜元素
Hf	5. 1× 10 ⁻⁶	8. 1× 10 ⁻⁷	6. 9× 10 ⁻⁷	2. 9× 10 ⁻⁷	3. 0× 10 ⁻⁶	亲石元素
Ta	3. 5× 10 ⁻⁶	1. 0× 10 ⁻⁸	/	1. 0× 10 ⁻⁸	6. 0× 10 ⁻⁸	亲石元素
W	2. 4× 10 ⁻⁶	3. 9× 10 ⁻⁶	2. 2× 10 ⁻⁶	9. 0× 10 ⁻⁸	6. 9× 10 ⁻⁷	亲石元素
Re	6. 5× 10 ^{-10*}	2. 1× 10 ⁻⁷	/	2. 5× 10 ⁻⁷	2. 0× 10 ⁻⁷	亲石元素
Au	2. 3× 10 ⁻⁹	7. 0× 10 ⁻⁸	/	/	3. 1× 10 ⁻⁷	亲铜元素
Tl	6. 1× 10 ⁻⁷	3. 6× 10 ⁻⁷	1. 4× 10 ⁻⁴	7. 0× 10 ⁻⁸	4. 8× 10 ⁻⁸	亲铜元素
Bi	1. 9× 10 ⁻⁷	8. 1× 10 ⁻⁷	/	2. 1× 10 ⁻⁷	6. 3× 10 ⁻⁶	亲铜元素
Th	1. 7× 10 ⁻⁵	1. 9× 10 ⁻⁵	6. 6× 10 ⁻⁵	6. 9× 10 ⁻⁷	1. 5× 10 ⁻⁴	亲石元素

“*” 为全球地壳含量; “/” 为未检出。

2.2 中地壳低速层的依据

当今世界上大型、超大型油气田盆地的地壳深部均赋存有低速层、高导层。俄罗斯学者沃夫斯基、C. 萨尔基索夫 III. M (1991) 将这种特殊结构称为“深部块断构造”。如滨里海盆地、西西伯利亚盆地、维柳伊盆地、南巴伦支盆地、北海盆地、里海盆地、南里海盆地、南鄂霍茨克盆地、墨西哥盆地、波斯湾盆地、东地中海盆地深部的中地壳发现低速层^[16]。张景廉^[18] 对中国含油气盆地的深部地壳结构作了系统的研究(表 2), 几乎无例外地分布有中地壳低速

层。它不仅与油气生成有关, 而且亦和固体金属(非金属) 矿产成因关系密切。

从表 2 可以看出, 我国含油气盆地中地壳的纵波速度均小于 6. 0 km/ s; 而金矿带深部中地壳的纵波速度为 6. 2~ 6. 3 km/ s(> 6. 0 km/ s); 在渭河盆地纵波速度为 6. 35 km/ s。

杜乐天^[19] 通过 COCORP, ECORS, DEKCRP 和地震层析技术等研究, 认为中地壳具有地震波传播速度低、高热流、低阻、高导、磁性减退或消失、密度降低等各种物性异常。它是由于地壳与地幔熔融

流体上涌形成的, 是一个充满甲烷(CH₄) 气体的气圈, 并命名为气圈 III, 由 CH₄, C₂H₆, C₂H₈, C₄H₁₀, CO, CO₂ 等气体为主, 还有 H₂ 气体, 具还原性质; 并和含油盆地常见的拆离断裂、推覆断裂、滑覆断裂、走滑断裂、铲状(犁状) 断裂、脆性- 韧性带、薄皮构造、叠瓦构造的形成有关。

现代地球物理资料证实, 中地壳低速层是由塑性物质组成, 具有流变特征的不连续层; 是富含热水的高温高压塑性层; 它在上地幔软流圈和地球自转动力作用下, 形成涡旋体, 是地壳内构造的直接动力; 它不仅产生各种断裂构造, 更重要的是富含水的极性溶剂。因为烃源岩中干酪根的支链均带有极性含氧端基, 具备高温高压相似条件。也就是说, 来自中地壳热流体对有机质起了活化(激活) 作用。周炎如等^[20] 认为烃源岩中有 60% 左右的干酪根在深部高温高压的热液中溶解, 由于涡旋体运动, 逐步成为富含有机质和粘土矿物的不连续团块, 统称为热流团。这种热流团不断地作圆周运动, 因而 Al³⁺ 可以与粘土矿物晶格层间水分子(H₂O) 的 OH⁻ 结合, 而 H⁺ 从水分子中分裂出来, 引发质子酸作用。随着热流团中的质子酸不断增加, 促使有机质催化裂解加氢反应进行, 产生带正碳离子的次级干酪根, 再行裂解、取代、重排或聚合(芳香二萜烃类) 。在上述反应中, 产生非极性烃类化合物, 改变了热流团的性质。

显而易见, 热流团运动呈断续性的脉动, 常沿基底滑脱构造或深大断裂运移, 随着温度压力的下降, 热流团中的含油饱和度不断递增, 遇有效储层构造聚集成藏。当然这种热流团运动均与盆地沉积旋回息息相关。如前所述沉积作用为多旋回, 在空间上也呈叠加复合型的特征。

宋仲和等^[21] 绘制我国西部三维速度图时指出, 祁连山南北两大构造带的中地壳存在速度为 2. 7~ 2. 9 km/ s 的低速层, 其中还赋存若干更低速的椭球体(即上述富水、低密度、高温高压的热流团) 。该区早古生代发育奥陶纪巨厚的复理石建造; 早古生代泥盆纪为磨拉石建造, 标志着海槽抬升; 晚古生代再次活化, 早石炭世为富含有机质(喜暖生物群) 的陆浅海沉积; 柴达木北缘的早、中三叠世有厚达 4 000 m 的富含有机质的类复理石建造; 中生代转为陆相沉积盆地, 有侏罗纪和白垩纪富含有机质的半深湖和浅湖相沉积。因此该区构成石炭系、三叠系、侏罗系、白垩系 4 个有机质的沉积旋回。至新近纪晚期, 中地壳塑性低速层急速膨胀, 热流团活动频繁, 加之近 SN 向的挤压力和西端阿尔金左行走滑断裂, 致使形成推覆- 旋扭构造体系, 成为油气藏形成的有利场所。所以说所谓“中地壳低速塑性层高温高压有机质成烃机制”^[20], 实际是油气成因二元论的重要证据。

表 2 中国含油气盆地的深部地球物理特征^[18]
Table 2 Deep geophysical features of oil+gas basins in China^[18]

盆地(拗陷) 、地区	中地壳深度(km)	纵波速度(km/ s)	密度(g/ cm ³)	电阻率(Ω · m)
松辽	20	5. 7	2. 45	3~ 8
下辽河	15~ 20	5. 6~ 6. 0		
四川		5. 95		
塔里木库车	20~ 30	6. 0		
和田河		6. 05		4. 4
吐哈博格达		5. 67~ 5. 86		
柴达木格尔木	15~ 20	5. 8		
玛沁泽康		6. 0		
酒泉		6. 08		
渤海湾惠民	15	5. 9~ 6. 1		
黄骅		5. 9		
莺歌海	7	5. 5~ 6. 0		
北京		5. 7~ 5. 9		
六盘山海原-同心	20	6. 1		
下扬子		5. 9~ 6. 0		4~ 20
金衢		< 6. 0		
衡阳			2. 70	
渭河	12~ 20	6. 35		1~ 3
扬子克拉通西南缘		5. 54~ 5. 84		
金矿带	10~ 30	6. 2~ 6. 3		

2.3 干酪根成藏的依据

油气有机成因理论认为生物是生成油气的重要来源。B. P. Tissot & D. H. Welte^[22] 认为沉积有机质经馏分的深部热演化过程形成石油。张厚福等^[23] 提出油气成因模式(图 2), 阐明沉积有机质是生物(主要为脂类化合物、蛋白质、碳水化合物和木质类等) 在乏氧生化降解的成岩阶段经过热催化、高温高压的后生作用阶段, 首先形成干酪根(Kerogen)。这种干酪根是一种高分子聚合物, 没有固定的化学成分, 主要由 C, H, O 和少量 S, N 组成, 没有固定的分子式和构造模型, 只有以假想的图式示意(图 3A)。

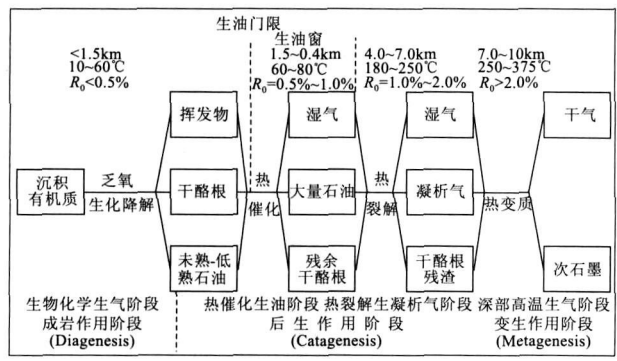


图 2 油气有机成因模式(据张厚福等, 1989)

Fig. 2 Oil gas organic genesis model

骨架, 与吸附其间的层间水、晶格水“活性分子”、可溶性有机质以及干酪根等以层状形式叠置, 可称为天然的“链式反应”。由于随着烃源岩不断埋深, 其中水的“活性分子”压缩到临界状况时, 即产生带正电荷快质子酸束 $\{H^+\}$, 一方面可以对可溶性有机质加氢脱水和脱羧酸成烃反应; 另一方面, 它还会与具有负电性的干酪根发生“多代链式反应”(图 3B), 使干酪根裂解为若干烃类化合物碎片(其中包括液态烃和气态烃) 和正碳离子 (CH^+) , 会使有机化合物产生重排和立体同分异构体相互转换的作用。

不难看出, 在“多代链式反应”的裂解过程中, 有机质必然释放能量, 所以温度和压力对成烃作用的关系密切。而且油气的运移服从卡诺(Carnot) 循环的热功转换, 孔隙流体以脉动式的体积膨胀和压缩交替形成的“蠕动渗流”在烃源岩内运移, 并自发地逐步分离呈有序的油、气、水三相游离态。在盆地凹陷深部积累的温度和压力无疑为封闭层提供了热源, 并为再次运移提供压力梯度, 如此油气经二次运移, 充填于不同的地质圈闭, 聚集成各种类型油气藏, 这就是有机质微观和宏观成藏机理的要点所在^[25]。但是在成烃或成藏过程中, 多次来自区域深部的地幔热液、火山活动以及构造变动等因素会引起温度和压力递增, 应是加速烃源岩中有机质形成“多代链式反应”的主要因素之一。按此推理, 烃源岩- 干酪根- 油气藏成因模式, 并不能脱离地壳结构、地质事件、深部流体(或称“热流团”) 等地质因素的综合控制。地幔流体中的 CO , CO_2 , H_2 等上升到地壳的低速、高导层时, 温度($300 \sim 450^\circ C$)、压力($2\,000 \sim 2\,500\,kPa$) 及 Ni , Cr , Co 等铁族元素的加入, 可促成费托合成反应, 产生甲烷。另外由于深部地幔流体含有大量的气体成分(H_2 , CH_4 , CO , He 等)、卤族元素(F , Cl , Br 等)、碱金属(K , Na , Li 等) 和铁族元素(V , Ni , Cr , Fe 等), 对有机质干酪根和粘土矿物会起到催化作用, 生成“未熟、低熟”或成熟油气^[18]。由此来看, 烃源岩干酪根的成藏过程, 亦是油气成因二元论的重要证据之一。

2.4 来自基岩油气藏的依据

石油地质人员将深部油气藏通常限定为 3 500 m 的深度。而本文的基岩油气藏则是指现今油气田的基岩以下的油气藏, 它是一个相对的地质概念, 而不是一个定量的深度。

国外的基岩油气田有委内瑞拉马拉开波盆地拉巴斯- 马拉油田、巴西赛几普盆地油藏、美国堪萨斯中央隆起基岩油藏、美国堪萨斯尼马里隆起基岩油

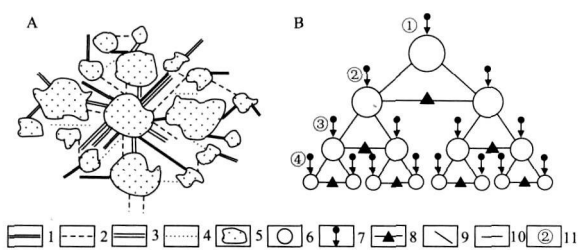


图 3 绿河页岩干酪根结构示意图(A) 及快质子酸束轰击干酪根成烃的多代链式反应(B)^[24]

Fig. 3 The Kerogen sketch structure of Lvhe shale (A) and multi-chain reaction of hydrocarbon generation through fast proton acid beam

bombarding the Kerogen

1. 直链脂肪酸结构 2. 支链脂肪酸构造 3. 聚亚甲基桥 4. 包裹成分 5. “环状”碳骨架结构(主要是脂肪环) 6. 干酪根及其碎片 7. 快质子酸束 (H^+) 8. 正碳离子 (CH^+) 9. 裂解径迹 10. 重排径迹 11. 第几代的快质子酸束

因为烃源层的主要成分是粘土矿物, 它与晶格水和干酪根成层状叠置排列。其中层间水吸附干酪根和粘土碎片, 晶格水吸附干酪根和粘土矿物晶格叠置而成。周炎如^[24] 认为烃源岩是以粘土矿物为

藏、美国堪萨斯二叠盆地基岩油藏、美国俄亥俄州辛辛那堤隆起摩罗县基岩油藏、美国加利福尼亚基岩油藏、利比亚锡尔特盆地阿尔马和奥季拉油田、阿尔及利亚哈西迈萨乌德油田、摩洛哥基岩油田、埃及基岩油田、安哥拉宽扎盆地基岩油气田、欧州潘农盆地基岩油藏、前苏联沙依姆基岩油藏^[26, 27]。

国内的基岩油藏有酒西盆地玉门鸭儿峡志留系基岩油田、渤海湾盆地济阳坳陷沾化义和庄基岩油田、冀中坳陷任丘基岩油田、辽河坳陷兴隆台基岩海气藏、准噶尔盆地火山岩油气藏等^[4]。

近年来, 松辽盆地四深 1 井在石炭—二叠系地层内见有 8 层气显示, 地层中烃源岩的有机碳为 0.1% ~ 3.0%, 平均值 1.198%, $R_o = 2.0\% \sim 8.0\%$, 具有成烃能力, 扩大了大庆油田的油气藏资源; 大港油田的孔古 3 井发现奥陶系油田, 乌马营潜山发现石炭—二叠系气田; 苏桥发现了石炭系中的凝析气田; 苏北盐城凹陷发现上古生界气田。经研究证实, 上述实例中的油气成藏都与火山活动有直接或间接的关系。

值得指出的是, 在俄罗斯东西伯利亚的雅库提、伊尔库茨克、克拉斯诺雅尔斯克三个地区的元古宇里菲阶及寒武系已探明石油可采储量 15 亿 t, 天然气储量达 2.04 万 m^3 ; 乌克兰的第聂伯—顿涅茨盆地 3 100 ~ 4 000 m 的前寒武系变质岩基底中发现无机成因石油储量达 2.19 亿 $t^{[4]}$ 。据统计, 国外已公布的 22 个产于结晶基底内的油气田天然气总储量 2.5 万 m^3 ; 石油为 5 030 万 t(表 3)^[28]。

对于元古宙和太古宙是否生油一直存有争议。有人认为是由于“新油古储”的缘故, 这种推测不无道理。澳大利亚学者 Dutkiewicz A 等^[29]在太古界砂岩的流体包裹体中发现了液态石油, 这种含油包裹体是被共轴生长石英(syntaxial quartz overgrowths)所包围, 它是与盆地深部有机质形成的铀矿物共生, 而铀矿物的放射性测年为 2 380 ~ 2 330 Ma。这个地区太古界变质岩已达葡萄石—绿纤石相(200 ~ 300 $^{\circ}C$), 仍保存液态石油似乎不太可能, 据实验室试验, 石油在 200 $^{\circ}C$ 时会转变成焦沥青及天然气, 但是在泥盆纪热液脉石英中流体包裹体中发现有长链烃存在, 其热液脉的温度达 300 ~ 450 $^{\circ}C$ (George S C)^[30]。Pavlenko 等^[31]认为在较冷的克拉通盆地, 流体包裹体可保护复杂烃类 10 亿年而不被破坏。由此看来, 石油稳定时限和温度比通常认为的要高得多^[4]。

将俄罗斯哈良根油气田的科尔文深井(井深 7 057 m)、西索普列斯克凝析气田内蒂曼—伯斯探

井(井深 6 904 m)和乌连戈伊巨型气田以东 60 km 处的秋明超深井(井深 7 502 m)等 3 个深井资料绘于图 4。有趣的是, 深井的井位部署是根据有机成因理论制订的, 并预测在这 3 个深井中获取大量原油是不可能的^[31]。通过 3 个深井的钻孔资料(图 4)取得如下认识:

表 3 国外产于结晶基底内的油气储量^[28]

Table 3 The known oil-gas reserves of in crystallized basement abroad			
油气田	国家	储量	
		石油 (10 ⁶ t)	气 (10 ⁹ m ³)
吉吉尔帕	澳大利亚	/	140
海特锡巴	利比亚	/	340
阿马勒	利比亚	673	/
奥季拉—纳富拉	利比亚	208	/
布阿提法尔	利比亚	103	/
达拉	利比亚	114	/
腊古巴	利比亚	165	/
萨里尔	利比亚	1339	/
贾蒂巴朗	印度	112	/
扎尔扎丁	阿尔及利亚	173	/
威明顿	美国	382	/
长滩	美国	148	/
克恩河	美国	200	/
雨果顿—潘汉得尔	美国	223	2000
卡姆普利斯	巴西	176	/
拉帕斯	委内瑞拉	260	/
马拉	委内瑞拉	121	/
奥利塔得石油环	委内瑞拉	480000(?)	/
拉市利亚	委内瑞拉	42	54
拉布梅亚—巴里纳斯	秘鲁	175	
一塔拉腊			
拉马丹	埃及	200	/
皮斯河	加拿大	19000	147

(1) 根据 3 个深井温度变化可以证明, 实际温度与预测温度是相近的。秋明深井的井底温度超过了 210 $^{\circ}C$; 科尔文深井和蒂曼—伯朝拉深井的深层压力是比较一致的, 科尔文深井异常压力系数 K_a 达 1.42, 而蒂曼—伯朝拉深井中略高于静水压力, 科明深井浅部发现高压异常, 实际上 K_a 值至井底都一直递增。

(2) 3 口井均在 5 km 深处不见含油显示。但是在 5 km 以下, 开始出现热解沥青的固体物质。这种热解沥青在蒂曼—伯朝拉深井的泥盆纪火山岩(粗玄岩)中; 而科尔文和秋明深井则出现在 5.5 ~ 6.0 km 深度内。

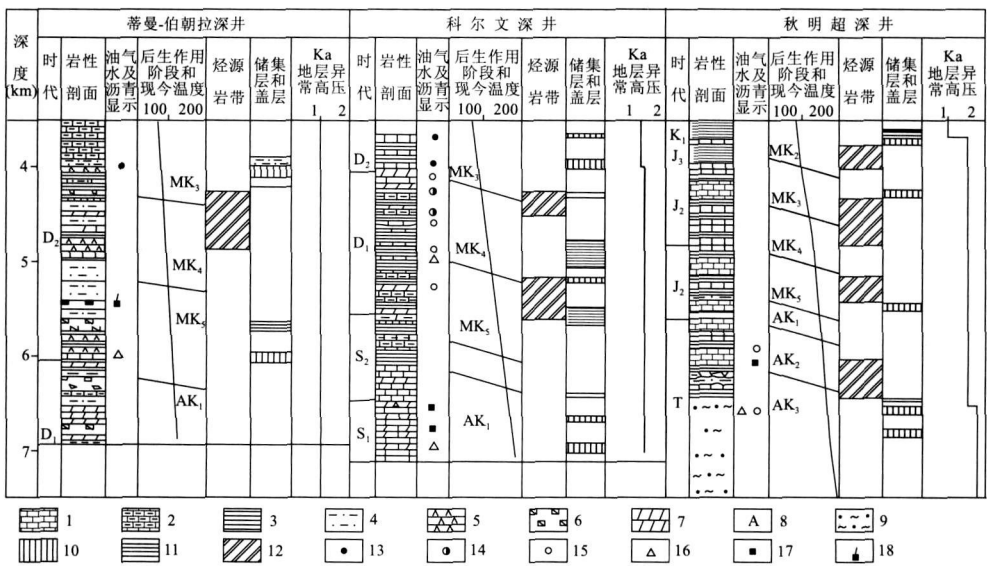


图 4 蒂曼-伯朝拉和西西伯利亚含油气省的深井和超深井钻探成果^[31]

Fig. 4 Deep well and ultra-deep well result in Tirmen-Pechora and west Siberia province^[31]

1. 灰岩 2. 泥质灰岩 3. 泥岩 4. 粉砂岩 5. 砂岩 6. 粗玄岩 7. 白云岩 8. 硬石膏 9. 玄武岩 10. 储量层发育带
11. 盖层 12. 高产能的烃源岩带 13. 油藏 14. 油显示 15. 天然气显示 16. 水显示 17. 固体沥青 18. 热解沥青

在科尔文深井和秋明深井的 5 km 以下见有天然气。秋明深井是在 6 650 m 处的岩浆岩中获得了含天然气的低矿化度水, 其甲烷含量达 80% 以上。随深度增加, 当温度达到 200 ℃时, 在沉积层吸附的甲烷、天然气急骤增加。封闭孔隙中的甲烷含量也随着深度而增加。秋明深井在 4 km 以下是以腐殖型有机质为主, 而另外 2 个井则是以腐泥型有机质为主。

然而在秋明超深井的侏罗系和三叠系中, 甲烷含量相对较高, 在 6 622~ 6 636 m 深度甲烷含量为 106. 7 cm³/kg, 推测来源于岩浆岩。这也是无机生油论的有力佐证。

(3) 重要的成果是在深部发现了储集层: 科尔文深井在 6 890~ 6 906 m 志留系碳酸盐岩的矿化度为 190 g/l 富含硫化氢的水; 秋明深井在 5 km 以下的沉积岩和 6. 5 km 以下的玄武岩中发现了较高孔隙度 (17% ~ 19%) 和渗透率的储集层发育带。这足以证明, 在重力压实主带之下, 当重力因素消失之后, 地球动力学作用及其有关的热物理学、热动力学和水化学因素开始对储层潜力起主导作用。所以确定重力压实主带与生油气主带在空间上和时间上极为重要。

(4) 烃源岩在深部仍保存了原来的特性。如图 4 所示, 科尔文深井 5 100~ 5 560 m 的下泥盆统多马尼油页岩在后生作用条件下腐泥型有机质的有机碳含量可达 5%, 具有很高的生油潜力, 对上覆岩层的含油性做出过贡献。秋明深井中- 上侏罗统腐殖

型有机碳含量达 8% ~ 10%, 甚至更高, 含气潜力最大; 三叠系普尔斯克组中烃源岩最深的产率最高。蒂曼-伯朝拉深井中发育着巨厚的泥盆系烃源岩。一般认为 4. 5~ 5 km 的烃源岩大部分已丧失了生油潜力, 但是生油潜力在深度上的不均匀性常与岩性的特征有关。

上述深井资料进一步论证了油气成因二元论的合理性, 如仅以有机成因论来解释油气成因, 必然会遇到较多的困惑。现今, 对生物有机成因的“门槛”、“物质成分来源”、“形成温压条件”等因素(图 2)应提出质疑。

在地球深部的高温高压条件下, 甲烷等烃类能否存在? 王先彬等^[32]的实验结果表明, 在温度 600 ~ 800 ℃、压力为 2~ 3 GPa(相当于陆壳 60~ 90 km 深度), 即下地壳-上地幔的温压条件下, 气相中 H₂, CO 和 CH₄ 等烃类是占优势的成分, 同时在 H₂C₂O₄ + Fe + H₂O 体系中, 还能生成高碳数的烃类化合物分子 C₁₅。这就证明地球深部的温压条件不仅有抑制烃类系列化合物热分解的作用, 而且可以促进烃类的环化作用、聚合作用及凝析作用, 并使之向复杂烃类系列演变。

2.5 火成岩包裹体中含烃类成分的依据

如前所述, 我国大部分含油气盆地的地层是由沉积岩和火成岩组成。现将松辽盆地火山岩的热解气体成分分析结果列于表 4, 国外基性岩及碱性岩含烃类物质分析结果列于表 5 和表 6。

表 4 松辽盆地火山岩的热解气体组成^[33]
Table 4 The pyrolytic gas composition of volcanics in Songliao basin

岩性	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	非烃气体总计
流纹岩	1.2702	1.9264	8.583	0.000	0.000	88.22
安山岩	3.0202	9.4747	17.0104	0.000	0.000	72.49
玄武岩	0.5938	4.3741	6.2773	65.9716	14.693	8.0702

检测单位: 大庆油田勘探开发研究院有机地球化学实验室; 量的单位: $w_B/\%$ 。

表 5 基性岩类中的气体成分^[34]

Table 5 Gas composition in basic rocks

岩性	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	CO
橄榄岩	5050	450	—	85250	6240
超基性岩 ^①	22600	11900	—	6000	64900
金伯利岩 ^②	50900	30400			3700

量的单位: $w_B/10^{-8}$;
资料来源: ①拔特西尔, 1961; ②维西尔夫, 1961。

从表 4 得知, 喷出岩以玄武岩粘度最小、分布广, 非烃气体也易于散发损失, CH₄ 等含量亦少; 相反安山岩和流纹岩粘度大, 分布相对比玄武岩要小, 因此烃类气体不易散发, CH₄ 等相对含量较多。

然而, 侵入岩正好相反(表 5), 金伯利岩多来自下地幔—地核, 携带的 H₂ 及 CH₄ 等含量最高; 超基性岩基性程度要高于橄榄岩, 前者常为小型岩体而后者多为岩脉产出, 故它们含 H₂ 及 CH₄ 等略逊于金伯利岩。

杜乐天^[35, 36]曾指出, 所谓深部流体是由 HA-CONS 组成(即由氢、碱、碳、氧、氮及硫元素)。岩石中的包裹体可代表深部流体的特性, 来自地核或软流圈地幔中的金伯利岩包裹体中 CO₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀ 及 H₂ 最高, 其次为榴辉岩、橄榄岩中的包裹体, 再次为花岗岩中包裹体(表 7)。但是来自地幔岩中包裹体的气体成分极不均匀, 各地的烃类气体及 H₂, CO₂, H₂O, H₂S, SO₂ 含量变化较大

表 7 我国侵入岩的包裹体气体成分^[34]

Table 7 Inclusion gas composition in granite and basie-ultrabasic rocks in China

地点	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂
密山花岗岩	2080	129.6	19.9	58.6	4.7	355.2
九华山花岗岩	1630	109.6	8.6	19.9	11.8	318.5
鼓浪屿花岗岩	2970	98.5	17.3	60.1	5.0	242.8
山东日照榴辉岩	3270	140.0	19.3	77.4	12.2	355.2
山东莒南榴辉岩	3860	886.9	5.7	47.0	4.0	114.7
山东二辉橄榄岩	4160	373.3	30.9	185.3	37.9	154.8
山东蒙阴金伯利岩	6380	2178	50.7	257.6	37.4	355.2
山东汝山橄榄岩	15100	168.1	14.1	66.7	4.0	139.2

量的单位: $w_B/10^{-8}$

(表 8)。

表 6 前苏联和邻区一些碱性岩中的气体成分^[34]

Table 6 Gas composition in some alkaline rocks in the former USSR and the adjacent area

地点	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂
洛沃泽尔	2.01	0.78	14.50	0.68	0.04
希宾	1.28	0.47	51.17	0.85	0.12
伊利莫赛克	3.24	—	48.25	6.90	0.0002

量的单位: cm^3/kg 。

从表 4 至表 8 不难看出, 火山岩、侵入岩, 以及它们的包裹体中均含有石油和天然气的主要成分——甲烷等。故来自深部的流体和火山—侵入作用可以提供油气成藏所需的物质成分和费托反应所必需的 H₂ 和 CO₂ 催化剂, 可作为无机成因的有力佐证。

2.6 固体矿产与油气田共(伴)生的依据

迄今, 固体(金属和非金属)矿床与油气田共(伴)生的关系, 已成为广大矿床学家的共识。如前所述, 岩浆活动与深部流体对烃源岩的有机质起到了积极的催化作用, 促进成藏过程, 而地层(或岩石)中有机质成分转化成质子酸束(H⁺)对深部成矿热液的金属元素起到溶解、螯合作用, 有利于矿液运移、卸载成矿。往往沿其同一有利构造空间进行交代, 萃取金属元素在圈闭构造环境中沉淀成矿(藏)。两者有着相辅相成、互为关联, “同工异曲”的效果。

表 8 地幔岩石包裹体的气体成分^[34]
Table 8 Inclusion gas composition of mantle rocks in China

样品号	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	C ₄ H ₆	H ₂ S	SO ₂	H ₂ O	CO ₂
大麻坪 1 号	/	12.1	5.2	5.4	/	19.1	6.0	/	6.2	7.7	16.2	22.1
大麻坪 2 号	/	11.4	/	/	/	/	/	/	/	/	36.7	51.9
大麻坪 3 号	4.4	5.2	/	8.8	/	11.0	/	/	4.8	/	12.4	42.3
张家口 1 号	24.04	23.04	/	/	/	/	/	/	/	/	/	52.2
吉林汪清	4.9	13.2	/	/	/	9.4	3.6	/	3.5	/	14.3	51.1
山西天镇	/	11.4	4.5	/	/	/	/	/	/	7.2	/	60.0
江苏六合	12.08	7.2	2.7	/	8.0	/	/	/	/	/	/	69.3
黑龙江科洛	3.8	4.1	/	3.9	/	/	/	/	/	/	7.6	80.6
吉林蛟河	19.0	14.5	/	/	/	9.0	/	/	/	7.3	/	49.9
吉林伊通	/	22.0	7.7	/	/	14.4	10.8	/	8.8	/	/	36.3
海南安定	8.5	24.5	3.8	/	/	/	8.7	/	/	13.7	16.9	23.9
黑龙江鹿道	5.4	6.7	/	/	/	13.1	/	/	/	/	11.5	63.3
张家口 2 号	/	8.8	/	/	7.2	13.8	/	2.1	6.2	/	17.5	44.4

分析者: 徐培苍; 仪器为法国 RAMANOR U 1000 型激光拉曼探针, 激光波长 514. 5 nm, 功率 300 mW, 狭缝 400 μm, 色散率 9. 2 cm⁻¹ mm⁻¹, 光电倍增管 1530 V; 量的单位: x_B/ % ; “/” 为未检出。

最典型的实例就是很多油气田(如四川盆地天然气田、中原油田、南阳油田、江汉油田、胜利油田以及塔里木盆地、青海柴达木盆地) 均产有岩盐矿床。油气田之所以与膏盐共生, 张景廉等认为^[37], 来自地幔的流体沿深大断裂进入低速高导层, 开始了地下的费托反应, 形成一系列幔源烃, 从而产生的热卤水循环向上, 常在浅部沉淀, 形成“上部有盐丘, 下部发现油气藏”的现象。

同样, 砂岩型铀矿床和油气盆地多呈现叠合关系, 前者埋藏较浅, 后者埋藏较深。成为“上铀、下油”的空间分布特征^[38]。

真允庆等^[39]具体剖析了广东三水盆地油气田与金属矿床的成因关系。该盆地属于新生代断陷盆地, 处在地幔柱三级单位幔枝构造^[40]的地质背景, 含油气盆地内不仅有超大型富湾银矿床、大型长坑金矿床、横江铅金矿床、河村铅锌矿床、茶山铅锌矿床、西樵山银矿床等, 而且还有油页岩、石膏、岩盐、膨润土、煤、水泥灰岩等非金属矿床伴生, 通过大量同位素研究, 提出了油气藏与金属矿床具有“四同”的特征, 即同一成矿(藏) 时代、同一构造体系控制、同一成矿物质来源、同一成矿作用。正如滕吉文^[41]曾指出的, 石油与天然气和金属与非金属矿产资源的形成、演化与聚集, 均受深层动力过程控制。

2.7 油气同位素组成的依据

李爱勇等^[42]通过我国油气田的 He、Pb、Sr、

Nd、Ne、Xe、G-D、C 等同位素组成的综合研究得到如下认识:

(1) 我国东部(大兴安岭—太行山—武陵山以东) (图 1B) 的油气田³He/⁴He 比值最高(1. 92 × 10⁻⁶ ~ 4. 89 × 10⁻⁶), 普遍含氦较高, 大部已达工业品位; 西部(贺兰山—龙门山以西地区) 的油气田³He/⁴He 比值变化较大; 而中部(即太行山—武陵山断裂与贺兰山—龙门山断裂之间) 的³He/⁴He 比值最小($n \times 10^{-8}$)。这一规律与深大断裂、岩浆活动和成藏物源来自幔源的比例密切相关^[43]。

(2) 从 Pb、Sr、Nd 同位素组成显示了克拉玛依油田、辽河油田及塔里木油田具有“多元、多期、多灶”的成藏特征^[44]。

(3) 从 He-Ar、Ne、Xe、G-D 及“ $\delta(^{13}\text{C}_1) - \text{C}_2/\text{C}_1 + \text{C}_2$ ”的关系特征, 证明成藏物源来自幔源与壳源^[41, 45, 46]。

(4) 从松辽盆地、鄂尔多斯盆地、三水盆地及苏北盆地的碳同位素组分, 阐明油气源皆和地壳与地幔贡献有关, 即有机与无机成因兼而有之^[39, 47, 48, 49]。

据霍秋云等的研究^[50], 松辽盆地北部天然气藏的成因可分幔源、壳幔源和壳源(表 9, 表 10), 而高含量 CO₂ 及 He 的气藏主要受深大断裂及火山岩分布的控制。

表 9 松辽盆地北部天然气组分及碳同位素组成^[50]

Table 9 Components and carbon isotope data of natural gas in North Songliao basin										
井号	井深 (m)	组分 $w_B/\%$				$\delta(^{13}\text{C})/10^{-3}$				CO ₂ 成因
		CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	
芳深 9	3. 602~ 3. 620	9. 61	0. 14	89. 73	- 27. 45	- 32. 11			- 4. 06	火山- 岩浆 成因
芳深 9	3. 602~ 3. 632	9. 37	0. 15	90. 38	- 27. 25	- 5. 46				
芳深 6	2755. 4~ 3409. 1	81. 79	1. 19	15. 32	- 23. 60	- 29. 32			- 6. 61	
芳深 701	3575~ 3840	12. 43	0. 16	86. 70	- 19. 73				- 1. 82	
五深 1	1389. 2~ 1449	89. 09	0. 93	0. 11	- 28. 10	- 28. 11	- 27. 94	- 28. 83	- 8. 53	无机与
杜 402	1022	92. 58	0. 53	0. 71	- 50. 79	- 34. 57	- 33. 21	- 29. 64	- 9. 59	有机混
芳深 7	3295~ 3321. 6	82. 52	1. 17	13. 08	- 28. 12	- 25. 11	- 31. 80	- 30. 87	- 10. 35	合成因
升 502	1774~ 1824	95. 22	1. 45	0. 16	- 31. 62	- 30. 94	- 29. 26	0	- 16. 76	有机 成因
升 66	1786~ 1832. 4	94. 21	1. 51	0. 15	- 27. 88	- 24. 33	- 24. 01	- 27. 34	- 12. 86	
升 69	1741. 6~ 1924. 8	94. 86	1. 46	0. 17	- 31. 38	- 28. 89	- 28. 27	- 25. 43	- 18. 14	
宋气 1-2	1109. 8~ 1146	94. 67	0. 83	0. 19	- 40. 19	- 32. 17	0	0	- 18. 48	
汪 903	2937. 6~ 3053. 2	78. 99	1. 98	14. 22	- 25. 34	- 33. 52	- 32. 4	- 32. 45	- 14. 37	
古 31	1201. 4~ 1213. 2	93. 11	2. 79	0. 34	- 49. 91	- 32. 44	- 28. 56	- 27. 13	- 21. 65	
肇 22	1347~ 1350	86. 26	3. 67	1. 61	- 44. 56	- 36. 28	- 31. 26	- 29. 94	- 15. 95	
古 644	1671. 4~ 1731. 4	69. 23	14. 84	3. 06	- 41. 2	- 30. 8	- 26. 9	- 29. 4	- 20. 0	
肇深 8	3152~ 3159	88. 60	1. 06	7. 5	- 22. 9	- 24. 9	- 25. 4	- 26. 9	- 16. 0	

表 10 松辽盆地北部天然气中碳、氦、氩同位素组成^[50]

Table 10 Carbon, helium, argon isotope data of natural gas in North Songliao basin						
井号	井深/m	$\delta(^{13}\text{C})/10^{-3}$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^3\text{He}/^4\text{He}$	R/R _a	来源
古 31	1201. 4~ 1213. 2	- 50. 7	448	$1. 90\times 10^{-8}$	0. 014	壳 源
塔 301	1243. 6~ 1306. 2	- 47. 90	762	$2. 66\times 10^{-8}$	0. 019	
塔 30-5	1153~ 1183	- 48. 99	672	$1. 65\times 10^{-8}$	0. 012	
龙 51-4	1488. 4~ 1579. 4	- 48. 30	1019	$1. 23\times 10^{-8}$	0. 009	
葡浅 7	401. 5~ 411. 2	- 60. 54	1047	$1. 07\times 10^{-8}$	0. 008	
杏 5-试 3-2	900~ 1200	- 48. 80	1462	$1. 88\times 10^{-8}$	0. 013	
喇 9-213	952. 6~ 1192. 8	- 50. 33	729	$2. 41\times 10^{-8}$	0. 017	
喇 6-209	935. 2~ 1202	- 50. 61	1066	$3. 05\times 10^{-8}$	0. 022	
升 81	1271. 4~ 1321	- 35. 69	1031	$1. 01\times 10^{-8}$	0. 007	
朝 51	700~ 703. 8	- 52. 30	341	$1. 25\times 10^{-7}$	0. 09	壳 幔 源
朝 57	643. 4~ 646. 6	- 53. 85	318	$1. 26\times 10^{-7}$	0. 09	
杜 402	1097. 6~ 1250. 4	- 52. 04	707	$9. 05\times 10^{-7}$	0. 68	
朝 92-76	950~ 1072	- 34. 35	504	$2. 88\times 10^{-7}$	0. 21	
三 2		- 31. 38	550	$1. 43\times 10^{-7}$	0. 1	
芳深 9	3602~ 3632	- 27. 45		$3. 9\times 10^{-6}$	2. 8	幔
				$4. 5\times 10^{-6}$	3. 2	源

2.8 多旋回盆地、多期、二元成藏的依据

塔里木陆块素有“高山深盆”之称。地台的基底岩系由上太古界托格拉克布拉克群和米兰群深变质岩、下元古界兴地塔格群为中-深变质岩和中-上元古界长城系、蓟县系和青白口系中-浅变质岩构成。地台的盖层为三层结构:下层为震旦系-二叠系克拉通裂陷盆地和克拉通拗陷盆地沉积,中层为三叠系-古近系前陆盆地型沉积,上层为新近系-第四系陆内统一盆地型或山间萎缩盆地沉积;盖层

总厚度达 17 000 余 m。与油气有关的储油层有:①古近系一白垩系储集层,以河湖相滩砂岩为主,多为岩屑砂岩,是目前高产油井的储层集层;②侏罗系-三叠系储集层,以河湖相、三角洲相砂体为主,多为长石岩屑砂岩,赋存多个含油层的岩组;③石炭系东河砂岩段储油层,以滨海滩坝相沉积为主;④二叠系生油层,主要为粉砂岩、细砂岩,底部为含砾长石砂岩,下部有黑色玄武岩及英安质含角砾凝灰岩;⑤寒武系-奥陶系烃源岩。

简言之,在塔里木克拉通隆壳上,震旦纪—晚古生代成矿旋回是以稳定沉积成矿(藏)地质环境和碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造为特征,是石油、天然气储油层和煤系的有利层位;晚古生代—新生代早中期(板块构造演化旋回)是中生代板内陆相油气沉积盆地发育期,为塔里木成矿省的 2 个成矿高峰期,也是二元成藏的典范(图 5B),油气圈闭形成的地质环境有断裂—滑脱背斜圈闭、X 型节理组圈闭、隐伏平缓背斜圈闭、前陆“三角带”圈闭等 8 类(图 5A)。

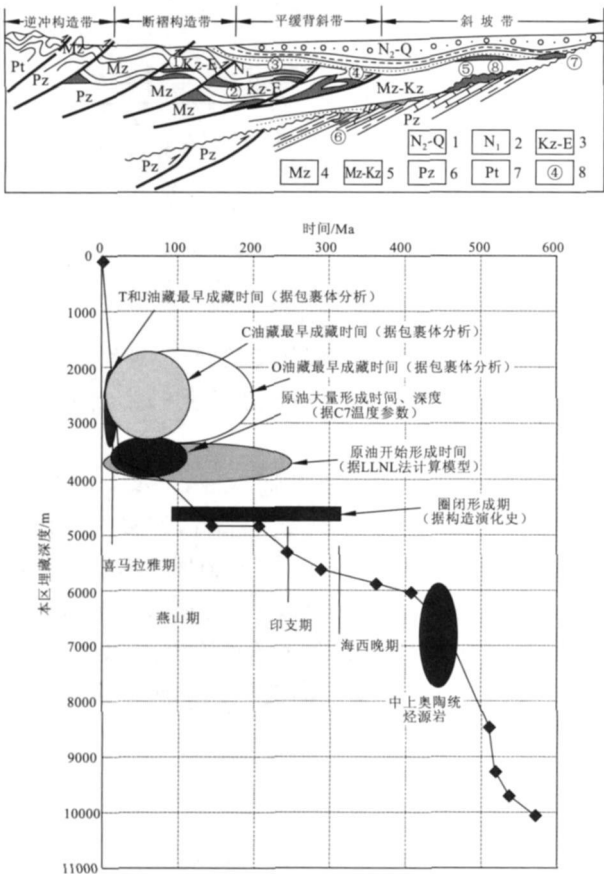


图 5 塔里木中生代盆地油气圈闭及轮南地区油气藏形成期演化趋势

Fig. 5 Oil-gas trap in the Mesozoic-Cenozoic basin in Tarim, and the evolution trend of reservoirs formation in Luntan area

1. 上新统—第四系 2. 中新统 3. 上白垩统—古近系 4. 中生界
5. 新生界 6. 古生界 7. 元古界 8. 圈闭

从上面列举的依据可以看出,石油和天然气既可由沉积有机质转化而成,也可由来自地球深部的无机生成烃,通过断裂、不整合、疏导层等渠道运移聚集于沉积盆地的各类圈闭构造中,形成油气藏^[51]。

3 油气成因二元论的地质- 经济意义

郭占谦指出^[52],中国石油资源可持续发展需要“多元”生烃理论的支持。油气成因二元论明显具有重要的地质- 经济意义。

3.1 油气成因二元论的经济价值

3.1.1 扩大找藏思路,为深部找藏提供依据

在详细研究区域构造、地层、岩浆岩、火山岩分布基础上,了解区域构造演化发展史,查明有效烃源岩特征,运用油气成因二元论的成藏理论,不仅要寻找中、新生代盆地油气田,而且更应重视查明深部残留盆地的基岩油藏,以及与火山岩、侵入岩有关的无机成因油气田。例如北祁连、南祁连造山带之间的山间盆地群及柴达木盆地南北两侧的“卫星”盆地中基岩油藏的勘查,应是很有望的预测靶区。

3.1.2 火山活动为再生气合成模型做出贡献^[53]

20 世纪初,德国化学家弗朗兹·费希尔和汗斯—托罗普奇两人是用一氧化碳加氢合成油气。在第二次世界大战中,德国每年已生产汽油 60×10^4 t,被称为费托合成模式,为无机成因论作为实验的依据。1992 年台北大学的魁齐昆、李明达用熔融铁做媒介,加 CO_2 和 H_2 合成烷烃。本文所述的二元结构盆地内赋存有玄武岩、橄榄玄武岩、橄榄岩,亦近似熔融铁的物质;深部流体完全可以提供 CO_2 和 H_2 ,构成盆地深部的合成生烃模式。钱伯章(2001)提出运用天然气制造合成油,即将天然气经过蒸汽转化成 $\text{H}_2 + \text{CO}$,然后在 $T = 190 \sim 256^\circ\text{C}$, $P = 1 \sim 4 \text{ MPa}$, $\text{H}_2/\text{CO} = 1.5 \sim 3.0$ 的条件下加入铁基或钴基催化剂,经费托合成,生产出液体烃类产品。在我国各地广泛分布的温泉中,均不同程度地含有 CO , CO_2 , H_2 , HS , N , He , Ar , CH_4 和 C_2H_6 ,这些气体都是合成石油天然气的原料。郭占谦认为石油天然气的生成具有一次性与可再生的两种属性,三种生烃机制:即有机生烃、无机生烃与合成生烃^[53]。

3.1.3 我国东部天然气可作为 He 资源开采^[54]

我国东部的松辽、辽河、黄骅、洛阳、苏北、三水含油气盆地的幔源挥发分各不相同。松辽盆地 29 个样品 R/R_a 的平均值为 2.3,即幔源挥发分加入可达 29.2%;其中万金塔 CO_2 气藏 $R/R_a = 5.14$,幔源份额达 65%;辽河盆地氦气幔源份额平均达 16.5%,最高达 52.5%;黄骅拗陷平均 15.4%,最高达 46%;济阳拗陷平均 17.5%,最高份额 40.5%;

苏北盆地平均 24%，最高份额 58.2%；广东三水盆地氦气中最高份额平均达 44.3%。在这些幔源含量很高的气井中，有许多井氦的总量 $\geq 0.1\%$ ，达到工业氦井(藏)的标准，可作为 He 气资源开发，其经济价值大大地高于可燃天然气。

3.1.4 综合利用石油中金属元素，可以获得巨大经济效益

据郭占谦报道^[55]，中国原油中含有较多的热液成矿金属元素，主要有铜、铅、锌、银、金、锡、铋、

汞等，其次为铁、钴、镍、锰等，以及钨、钼、铍、稀土元素镧、铈、镨、钆、钽、钼、钒、铀、钍、铟、铯等。在分析的 60 个元素中就有 40 个热液成矿元素超过中国陆壳克拉克值的 1 倍以上，所以重视原油的综合利用，将可获得巨大的经济效益。

现以我国四大油田 2000 年产量为例，按原油中所含 Al、Fe、Cu、Zn 的品位，将估算获得的储量统计列于表 11。

表 11 我国四大油田 2000 年产量及金属估算量^[56]

油田	产油量 (万 t)	Al		Fe		Cu		Zn	
		w (Al)	产量(万 t)	w (Fe)	产量(万 t)	w (Cu)	产量(万 t)	w (Zn)	产量(万 t)
大庆	5300	2.3×10^{-2}	121.9	1.5×10^{-1}	121.9	2.6×10^{-3}	13.78	2.5×10^{-3}	13.25
辽河	1401	2.5×10^{-3}	3.5	2.5×10^{-3}	3.5	7.5×10^{-4}	1.05	2.8×10^{-3}	3.92
大港	400	2.9×10^{-3}	1.16	2.9×10^{-3}	1.16	1.8×10^{-4}	0.72	1.8×10^{-3}	0.72
新疆	920	3.2×10^{-2}	29.44	3.2×10^{-2}	29.44	1.0×10^{-4}	0.094	1.4×10^{-7}	1.316

四大油田仅按 2000 年产量估算，可获得铝 156 万 t，能补缺口的 20.9%；获得铁 828.046 万 t，能补缺口的 5.175%；获得铜 16.49 万 t，能补缺口的 6.34%。大庆、辽河、大港、新疆四大油区 2000 年的产油量约占全国年产量的 50.12%，按此比例推算，全国的铝、铁、铜、锌产量将有大幅度的增加^[55]。

大庆原油中含有极丰富的硒(1.2×10^{-3})，钪(9.7×10^{-4})，钆(5.6×10^{-5})，如按年产油量 5 500 万 t 估算，可获得硒 63 250 t，获得钪 3 080 t，获得钆 3 080 t；这可为我国高新材料工业提供重要的资源。

3.2 油气成因二元论的地质意义

3.2.1 油气田与金属矿床可以互为找矿标志

越来越多的资料表明，在一定的地质和地球化学背景下，油气藏和金属矿床具有明显的空间分布和成因联系。为此在油气矿藏分布区应注意寻找岩盐矿产、金属矿床和非金属矿床；在金属矿床(田)区域，特别是在浅成低温热液型矿床分布区应寻找油气藏，二者可以作互为找矿标志。例如在二连盆地、吐哈盆地、鄂尔多斯盆地铀-油伴生^[56]，在辽河油田运用烃汞共生取得了成功找矿经验^[57]。

3.2.2 矿床学应增添“有机”和“无机”统一体的新内涵

在矿床学研究领域，应将地球深部流体中的“有机”与“无机”成分视作深部过程中的统一体；重视外生与内生成矿作用互为联系、互为转化的关系；把金属、非金属矿床与石油、天然气、天然气水合物和煤

等能源矿产的成矿预测和找矿部署整体考虑、统一安排，使矿床成因的研究视角进入到一个新的理论视野中去。

3.2.3 应尽快创建我国能源-金属矿床成矿系列

目前国内从成矿系列研究来看，许多油气成矿系列，均未包含有色金属矿床、非金属矿床和盐类矿床，《中国矿床成矿系列图》、《中国矿床成矿系列初论》等出版物中也未提及我国能源矿产成矿系列。因此建议，尽快创建我国的能源-金属矿床成矿系列^[58]。

4 结束语

我国含油气盆地具有“水、火”二元结构、多旋回叠合盆地的特点^[53]，中国陆壳具备富烃的优越条件等，均是我国油气资源可持续发展的重要地质基础。

自然界一切石油地质现象与过程都不是孤立的、静止的，它们的相互关系及发展、演化都是受到地球内能的控制^[51]。因此建立和运用油气成因二元论不仅具有重要的地球科学理论意义，而且会在深部找藏和矿产资源综合利用工作中取得巨大的经济效益。

参考文献:

- [1] 滕吉文, 张中杰, 张秉铭, 等. 渤海地球物理场与深部潜在地幔柱的异常构造背景[J]. 地球物理学报, 1997, 40(4): 468-480.
- [2] 钟华, 周锡民, 真允庆, 等. 地幔热柱与油气田成因——以东北及华北油气田为例[J]. 桂林工学院学报, 2003, 23(3): 258-265.
- [3] 肖龙, 王方正, 王华, 等. 地幔柱构造对松辽盆地及渤海盆地形成的制约[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(3): 283-292.
- [4] 张景廉. 论石油的无机成因[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 87-268.
- [5] 张之一. 关于石油深部起源的若干问题[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1): 112-117.
- [6] 王德治, 王德治. 石油成因的有机说和无机说[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5): 571-573.
- [7] 刘光志. 石油天然气、金刚石地下放电发光成因说[J]. 新疆石油地质, 2006, 27: 121-123.
- [8] 李庆忠. 打破思想禁锢, 从新审视生油理论——关于生油理论的争鸣[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(3): 75-53.
- [9] 任纪舜. 中国主要地质构造特征[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-204.
- [10] 张厚福, 孙红军, 梅红. 多旋回构造变动区的油气系统[J]. 石油学报, 1999, 20(1): 8-12.
- [11] 郭占谦. 中国含油气盆地的变格[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(3): 8-12.
- [12] 赵文智, 何登发, 池英柳, 等. 中国复合含油气系统的基本特征与勘查技术[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 6-13.
- [13] 王先彬. 地球深部来源的天然气[J]. 科学通报, 1982, 27(17): 1069-1071.
- [14] 杜乐天, 贾跃明, 肖庆辉, 等. 天然气开发新方向[R]. 北京: 中国地质矿产信息研究院, 1993: 136.
- [15] 郭占谦. 火山活动与石油天然气的生成[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(1): 5-10.
- [16] 沃里沃夫斯基 C. 萨尔基索夫 M. (任命译). 世界最大含油气盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 100-210.
- [17] 杨文采. 后板地球内部物理学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 108-109.
- [18] 张景廉, 于均民. 论中地壳及其地质意义[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(1): 1-303.
- [19] 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1-300.
- [20] 周炎如, 袁剑英, 李相搏, 等. 改造型盆地中地壳低速塑性层高温高压下有机质成烃机制初探[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 22-25.
- [21] 宋仲和, 庄真. 中国西部三维速度结构及其各向异性[J]. 地球物理学报, 1991, 34(8): 694-706.
- [22] Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence (Second Edition) Springer Verlag Berlin, Heidelberg [M]. New York, Tokyo, 1984.
- [23] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 1-93.
- [24] 周炎如. 有机质多代链式反应成烃机理的研究与探讨[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(2): 119-125.
- [25] 周炎如. 有机质微观成烃和宏观成藏机理[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2): 135-141.
- [26] Landes K K. Petroleum resources in basement rocks [J]. AAPG. Bull., 1960, 44: 1682-1691.
- [27] Pan C H. Petroleum in basement rocks [J]. AAPG bull., 1982, 66: 1597-1643.
- [28] 王德治, 王德治. 深部结晶基岩内的油气[J]. 石油物探译丛, 1995, 4(2): 33-36.
- [29] Dutkiewicz A, Resmussen B, Buick R. Oil Preserved in fluid inclusions in Archaean sandstones [J]. Nature, 1998, 395: 885-888.
- [30] George S C, Jardine D R. Koonen in a Proterozoic dolerite sill [J]. Org Geochem, 1994, 21: 829-839.
- [31] 王德治. (王金塑译). 深部含油气性的几个问题[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 263-267.
- [32] 王先彬, 李春园, 陈践发, 等. 论非生物成因天然气[J]. 科学通报, 1997, 42(12): 1233-1241.
- [33] 郭占谦, 杨海博. 中国陆壳是富烃陆壳[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(3): 326-330.
- [34] 杜乐天. 地幔流体与软流层(体)地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 4-423.
- [35] 杜乐天. 裂谷地球化学[J]. 国外铀矿地质, 1987, 4(3): 1-8.
- [36] 杜乐天. 幔汁(HACONS)流体的重大意义[J]. 国外铀矿地质, 1989, 6(3): 1-7.
- [37] 张景廉, 冯有奎, 李相搏. 无机生油理论与21世纪中国油气勘探战略[J]. 新疆石油地质, 2002, 21(2): 231-237.
- [38] 杜乐天, 欧光习. 盆地形成及成矿与地幔流体间的成因联系[J]. 地学前缘, 2007, 27(5): 215-224.
- [39] 真允庆, 郝红蕾, 付怀林, 等. 广东三水盆地油气田与金属矿床的成因关系[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 795-804.
- [40] 牛树根, 罗殿文, 叶东虎, 等. 幔枝构造及其成型规律[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 145-149.
- [41] 滕吉文. 中国地球深部结构和深层动力学过程与主体发展方向[J]. 地质论评, 2001, 48(2): 125-138.
- [42] 李爱勇, 真允庆, 曾朝伟, 等. 中国油气田氮、铅、锶、钕等同位素组成与“二元论”[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(4): 353-363.
- [43] 徐永昌. 天然气氮同位素分布及构造环境[J]. 地学前缘, 1997, 4(3-4): 185-190.
- [44] 王先彬, 徐胜, 陈践发, 等. 腾冲火山区温泉气体组分和氮同位素特征[J]. 科学通报, 1993, 38(9): 814-817.
- [45] 徐永昌. 天然气中的幔源稀有气体[J]. 地学前缘, 1996, 3(3-4): 63-70.
- [46] 戴金星. 天然气碳同位素特征和各类天然气鉴别[J]. 天然气地球科学, 1993, 4(23): 1-46.
- [47] 黄海平, 杨玉峰, 陈发荣, 等. 徐家围子断陷天然气的成因[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 515-521.
- [48] 刘德梁, 孙先如, 李振生, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩脉流体包裹体碳同位素分析[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 68-74.

- [49] 马永生. 中国海相油气勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 415-432.
- [50] 霍秋立, 付丽, 王雪. 松辽盆地北部 CO₂ 及 He 气成因与分布[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(4): 1-4.
- [51] 张厚福, 方朝亮. 盆地油气成藏动力学初探——21 世纪油气地质勘探新理论探索[J]. 石油学报, 2002, 23(4): 7-12.
- [52] 郭占谦. 中国天然气资源可持续发展需要多元生气理论的支持[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(5): 464-468; (6): 587-589.
- [53] 郭占谦. 论石油与天然气的多元成因[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(6): 768-774.
- [53] 陈广坡, 徐国盛, 王天齐, 等. 论油气藏与金属成矿的关系及综合勘探[J]. 地质前缘, 2008, 15(2): 2000-2006.
- [55] 郭占谦. 中国石化工业可持续发展需要石油冶金技术的支持[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(4): 449-452.
- [56] 李怀渊, 张守鹏, 李海明. 铀-油相伴性探讨[J]. 地质论评, 2000, 46(4): 355-361.
- [57] 陈践发, 妥进才. 辽河拗陷天然气中 Hg 的成因及地球化学意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27: 23-24.
- [58] 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 443-603.

GEOLOGICAL AND ECONOMIC SIGNIFICANCE OF THE OIL-GAS GENETIC DUALISM

ZHANG Shao-yun^{1, 2}, ZHEN Yun-qing^{1, 2, 3}, WANG Yang^{1, 2},
CHEN Guo-heng^{1, 2}, LI Zhong-hua^{1, 2, 4}, YUAN Jie^{1, 2}, WU Jing^{1, 2}

(1. Eastern China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals in Jiangsu Province, Nanjing, 210093, China; 2. Team 814, Eastern China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals in Jiangsu Province, Zhenjiang, 212005, Jiangsu, China; 3. NO. 3 Bureau, China Exploration & Engineering Bureau, Taiyuan 030002, China; 4. Geoscience department of Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: This paper analyzes characteristics of poly-cyclic dual structural superimposition of the sedimentary oil-gas basins in China and puts forth the oil-gas genetic dualism by which the oil and gas could be formed from both the sedimentary organic materials and the deeply derived inorganic materials then is given evidences for the hydrocarbon formation in 8 aspects. The oil-gas genetic dualism would enlarge the limits for oil-gas reservoir and the metal ore (beryllium, zirconium, niobium, silver, cadmium, tin, indium, antimony, tellurium, hafnium, molybdenum, tungsten, rhenium, gold, thallium, thorium, bismuth) searching limits to more depth of the earth thus it is significant to establish oil-gas-metal-non-metal mineral resources-forming series and create economic benefits by comprehensive utilization of the helium and metal resources from the oil-gas.

Key Words: oil-gas; oil-gas reservoir basin; oil-gas genetic dualism; oil-gas-metal-non-metal mineral resources-forming series; helium resource; comprehensive utilization