

无机生油假说及其在中国的应用前景

袁学诚 李善芳

(中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

提要:无机生油假说认为,原油和天然气和近地表的生物物质没有根本联系,它们是生成于地幔内的非生物来源的碳氢化合物。因而油气不是一个不可再生资源,而是一个可再生资源。无机生油假说得到地质学、物理学和化学等三个基本学科的支持。在地质观察上,发现全球许多大油田的油气储藏与原始生物物质之间数量上有巨大落差,难于解释它们是由生物生成的。此外,有许多地区在结晶基底或变质基底内,或直接位于其上的沉积岩中发现石油。从生物生油假说来说,也是无法理解的。在化学上,早在二战期间,德国已由人工合成石油(费托合成),并生产了占德国战争中用油的 9% 的石油。无可争辩地说明,无机可以生成石油。根据化学(物理学)热力学理论分析确认,甲烷是唯一一种在标准温压条件(温度为 298.15 K; 压力为 101325 Pa)下稳定的碳氢化合物,从甲烷形成正常烷属烃只有在压力 $>3 \times 10^6$ kPa、温度 $>700^\circ\text{C}$ 时(相当于地下深度约 100 km)才有可能。在地壳内的温压条件下由生物变质形成石油的假说,与化学热力学的基本原则相抵触。从氧化的有机分子,如碳水化合物($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)形成较高的碳氢化合物在任何条件下都是不可能的。根据我国长期对深部构造的研究,笔者认为在中国东部及西太平洋蘑菇云岩石圈地幔发育的地区是寻找巨型无机油气田的有利地区,建议在发育蘑菇云岩石圈地幔地区开展无机油气田的勘探,并在无机油气田远景地区布置超深参数钻,以评价含油气远景。另外建议加强物探工作,尤其是研究地震勘探处理基底内三维含油气构造的技术。

关键词:无机生油假说,费托合成,蛇纹岩过程,化学热力学,蘑菇云岩石圈地幔

中图分类号: TE122.1⁺11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)04-0843-

油气生成成因存在争论。现在世界上还没有一个为大家接受,可以普遍用于解释油气生成的理论。

所谓理论应该满足几个条件,第一它应该是在实验室内通过实验验证,或可以在已知条件控制下重现的。第二是它应能“放之四海而皆准”地广泛解释各种有关现象。第三,它还应该可以预言预测事物的未来发展。

既没有实验证明,又没有严密理论支持的情况下,对自然界做出的推断便是假说。

地学和物理学、化学等实验科学不同,它的研究对象在时间和空间上的巨大跨度使得它常常不可能在实验室内重现,从而产生令人信服的理论。在它发展中,更多的往往是通过不断涌现出来的能说明更多的现象的新的假说替代旧的假说,后浪推前浪,逐

步接近真理,推动科学的进步。

地学中正在引领学科前进的板块构造、宇宙大爆炸等都是假说。它们或早或晚必定要被别的新的假说所代替。

有机生油也是一种假说,它的正确性正在受到质疑。

本文简略地综述几种油气生成理论或假说,并从深部构造探索在中国寻找无机油田的前景。无机生油的观点认为,原油和天然气和近地表的生物物质没有根本联系,它们是生成于地幔内的非生物来源的碳氢化合物。油气不是一个不可再生资源,而是一个可再生资源,没有理由再说将来石油会短缺,就好像担忧洋中脊缺少玄武岩^[1]。从海相生物生油的观点,中国曾被认为是一片荒脊的沙漠,但从无机生

油的观点,中国是一片富饶的沃土。中国具有发现巨大油气藏的有利构造条件,有跻身于世界油气强国之林的潜力。在国内找到巨型油田是打破石油对我国封锁之虑的最好的方法。

1 生物生油假说

在 20 世纪 20~30 年代,海相生物生油的观点占统治地位。绝大多数石油地质学家都认为石油的生成是由于海洋浮游生物或植物,死亡后沉入洋底淤泥的浅海中,在厌氧条件下避免降解,厌氧细菌将脂类转化成腊状物质,形成油母页岩。随着地壳下沉源岩越埋越深,温度逐步上升,当温度达到石油窗(60°C 到 120 °C)时,热解除作用使油母页岩分子分裂成为直链碳氢化合物,形成原油,原油富有流动性,可以穿过地层往上迁移。在合适的地质条件下形成圈闭成为油储。

当源岩埋深温度进入天然气窗口(120 °C 到 220 °C)时,则热裂解成为天然气。更大埋深,天然气被高温破坏。使得油气全无(图 1)^[2]。

按照这个观点,存在海相地层是寻找油气的先决条件。1922 年美国斯坦福大学地质系教授 E. Blackwelder 在《中国和西伯利亚的石油资源》一文中曾预言:中国将永远不能产出大量的石油。其依据是:(1)中、新生界没有海相沉积物;(2)古生代大部分地层不能生成石油;(3)除西部和西北某些地区外,几乎所有地质时代的岩石,都遭受强烈的褶皱、断裂,并受到火成岩不同程度的侵入^[3]。

发表第一篇科技专文反对这种观点,提出中国陆相生物生油并可能具有工业价值的是潘钟祥教授^[3-4]。他在 20 世纪 30 年代多次赴野外调查,发现陕西油苗主要产于三叠系延长层及侏罗系延安组的河流、沼泽、泥沼及湖相等陆相沉积中。四川的油气则产于白垩系的自流井层的湖相沉积中。1941 年,潘钟祥教授在美国发表了著名论文《中国陕北和四川的白垩系石油的非海相成因问题》,认为石油也可能生成于淡水沉积物,并且可能具有工业价值。在这以后,有多位地质学家论述中国的陆相生油。

大庆油田的发现改变了中国贫油的面貌,也冲击了海相生油的假说。紧随其后,石油工作者又相继发现山东胜利油田、天津大港油田和辽宁下辽河油田等等重要油田。所有这些油田均产出在陆相地层中。在陆相地层中大批油田的发现推动了陆相石油

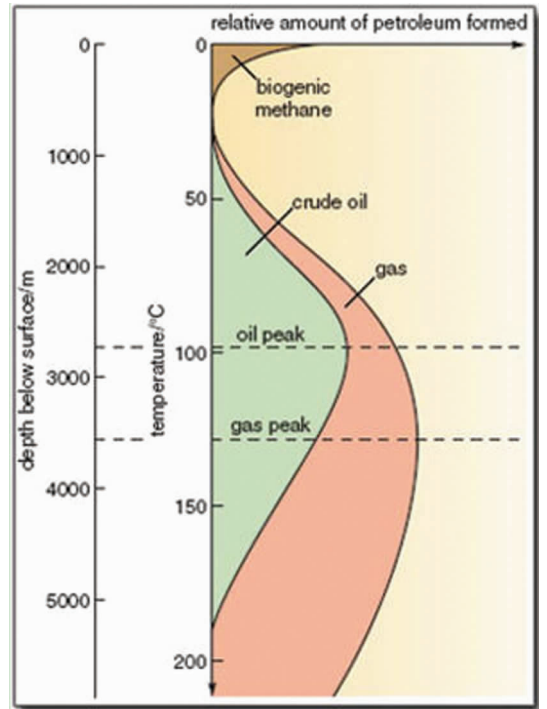


图 1 原油和天然气生成埋深、温度相对数量
(据英国 Open University 开放教程^[2])

Fig.1 The relationship between depth of burial, temperature and relative amount of crude oil and natural gas formed from Type II kerogen in an area with a geothermal gradient of about 35 °C km⁻¹^[2]

假说在中国的研究与发展。

2 前苏联学派的无机生油假说^[1,5-6]

(1) 无机生油假说的地质证据

20 世纪中叶,无机生油假说抬头。主要有两个学派,即是以 Nikolai Alexandrovich Kudryavtsev 教授为代表的前苏联学派与以 Thomas Gold 教授为代表的西方学派。

Kudryavtsev 教授(1893—1971)是一位卓越的石油地质学家。他所进行的区域地质调查,促使苏联格罗兹尼、中亚、Timan-Pechora 等地工业油气田的发现。

Kudryavtsev 同时也是现代石油起源无机假说的创始人。他在参观考察加拿大 Alberta 省的 Athabasca Tar Sands 的油田地质后提出疑问,认为这个油田的碳氢化合物是如此巨大,不可能有那么多的原始有机物物质存在,最可能的解释是无机深部生成^[7]。油气储藏与原始生物物质之间的巨大落差

不相配合的问题在全球许多大油田都存在。

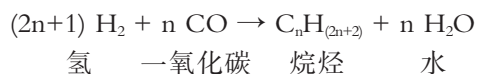
无机生油的另一个地质证据是,有许多地区在结晶基底或变质基底内,或直接位于其上的沉积岩中发现石油。从生物生油假说来说,这无疑是无本之木,无源之水。例如,阿尔及利亚撒哈拉地台玄武熔岩中含碳氢化合物。阿根廷安山岩基岩中含油。在巴西近海的 Campos 盆地中 1975 年发现的的 Bajejo 和 Linguado 油田的破碎玄武岩中产油。加拿大 Fort McMurray 的太古宙井中,距花岗岩顶部深 260~290 m 处得到重油。英国 1977 年发现的 Clair 近海油田的基底隆起上覆盖的泥盆—石炭纪陆相红层中和隆升基底的破碎带中出油。位于苏伊士湾的 Zeit 湾油田 1981 年钻孔在基底中发现天然气。同年 10 月,QQ89-2 井在白垩纪地层和岩性为伟晶花岗岩到粗粒斑岩的基底中钻到 253 m 厚的油柱。油田破碎基底含油占油田的总产量的三分之一,每口井流量 83468.7~1192410 L/d。印度的 PY-1-1 油田围岩为前寒武纪风化花岗岩。印尼苏门答腊 Beruk 油田储存于前古近纪破碎变石英岩,粘板岩及风化花岗岩基底中,裸眼测试基底油流量 1680 bbl。堪萨斯、加利福尼亚、西委内瑞拉及 Morocco 等都是基底产油的例子^[8]。

此外,许多赋存在沉积岩中的油藏,也往往与直接位于其下的基底内的破碎带有关。例如,沙特阿拉伯的 Ghawar 特大油田;美国堪萨斯的 Panhandle 油田;哈萨克斯坦的 Tengiz 油田;美国怀俄明的 Lost Soldier 油田地质剖面上各层位(从盖在基底上的寒武系砂岩到上白垩统沉积),以及基底岩石中都得到油流。在加拿大地盾的岩浆岩和变质岩中不乏碳氢化合物气体。在贝加尔湖的东岸钻遇前寒武纪片麻岩中的石油。

Kudryavtsev^[9]认为,寻找工业油储无他,只要去找有不能渗透的地层覆盖的渗透性带。他还提出一个找油气的规律,称为 Kudryavtsev 法则。这个法则是说:“在任何地区的一个层位上发现有碳氢化合物,那么从这个层位直至基岩,以及基岩内的所有层位,或多或少都会有碳氢化合物。所有油田都有顶盖,阻断碳氢化合物的继续向上运移。顶盖使碳氢化合物得以保存。”这个法则意味着结晶基岩是储存在沉积盖层中的石油的源岩。这个法则也可看成是无机生油假说预测油气田的箴语。

(2) 费托合成与石油生成的蛇纹岩过程^[5]

所谓费托合成(Fischer-Tropsch synthesis)是在德国 Kaiser Wilhelm 研究所工作的 Franz Fischer 和 Hans Tropsch 在 20 世纪 20 年代的一项发明,他们将一氧化碳和氢合成为烷烃^[10]:



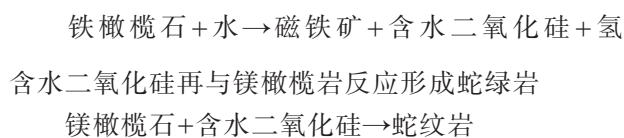
烷烃($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$)的分子式中, n 代表碳原子数。在常温常压下, $n=1-4$ 的烷烃呈气态,存在于天然气中; $n=5-15$ 的烷烃是液态,是石油的主要成分; $n>15$ 的烷烃为固态。费托合成过程中还需要脱硫,调整氢与一氧化碳的比例,水蒸气重组等等。在二战期间用费托合成方法生产了占德国战争中用油的 9%。它无可置疑地说明,无机不但可以合成石油,还可以提供工业规模的人工化学合成的石油。

1967 年,乌克兰 Emmanuil B. Chekaliuk 教授提出,石油可以自然模拟费托合成过程在地壳内合成。被称为蛇纹岩机制,或蛇纹岩过程^[11-12]。

蛇纹岩机制生油的化学基础是橄榄岩的蛇纹岩化,在有二氧化碳的环境下纯橄榄岩水化生成甲烷^[13]。

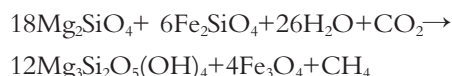
蛇纹岩含有 80% 的橄榄石和 Fe-Ti 尖晶石的橄榄岩及纯橄榄岩变来。大部分橄榄石还含有高含量的镍,铬铁矿或铬杂质,提供所需要的过渡金属。

蛇纹石化生油过程的化学反应如下: 橄榄石由镁橄榄石和铁橄榄石组成,铁橄榄岩加水得到含水二氧化硅:



当存在已溶解的二氧化碳(碳酸),温度超过 500 °C,发生上述反应时,则发生下反应,得到甲烷

橄榄石 + 水 + 碳酸 → 蛇纹石 + 磁铁矿 + 甲烷
或用平衡式表示:

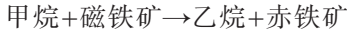


甲烷升级到更高的链烷(n -alkane)是在有催化剂过渡金属(如 Fe, Ni)的参与下籍甲烷的脱氢作用完成的,称为尖晶石水解作用。

磁铁矿、铬铁矿和赤铁矿是在许多岩石内可以找到的铁尖晶石属矿物,但在非超基性岩内很少作为主要成分存在。在这些岩石内,岩浆来源的磁铁

矿, 铬铁矿和赤铁矿提供还原基质使在水热事件中甲烷的非生物破裂转换为更高级的碳氢化合物。

化学上还原的岩石在完成这个反应时是需要的, 而高温则可使甲烷聚合成乙烷。



它生成链烷碳氢化合物, 包括线性饱和的碳氢化合物, 如乙醇、醛、酮、芳香族及环族化合物。

(3)无机生油的化学热力学基础

J.F.Kenney 等^[14]发表的论文独树一帜, 具有特别重要的意义。他们用热力学的普适原理来研究无机生油。结论是甲烷是唯一一种在标准温压条件下(简称 STP, 指温度为 298.15 K; 压力为 101325 Pa 大气压的温压条件)稳定的碳氢化合物。从甲烷形成正常烷属烃只有在压力>3×10⁶ kPa、温度 >700°C 时, 相当于地下深度约 100 km, 才有可能。他们认为在地壳内的温压条件下由生物变质形成石油的假说, 与化学热力学的基本原则有抵触。从氧化的有机分子, 如碳水化合物(C₆H₁₂O₆)形成较高的碳氢化合物在任何条件下都是不可能的^[14]。

化学热力学从热力学三个基本定律(能量守恒定律、在自然过程中熵始终大于零以及在绝对零度时物质的熵趋向于零)出发, 导出 Gibbs 方程等基本方程式。它可应用数学分析来探讨化学问题, 可判断化学反应中由一个状态转换成另一个状态是否可能。

Gibbs 函数或 Gibbs 自由能的定义:

G = U-TS+pV

其中 p 是压强, V 是体积, T 是温度。

U 是系统的内能, 指体系内一切能量的总和。包括体系内各种物质的分子、原子以及电子的位能, 动能等等。在化学热力学中即是化学内能, 称为化学势, 用 μ 表示。

S 是熵, 熵是体系无序程度的标志, 体系熵值的增加意味着体系无序程度的增加。

Gibbs 自由能的物理含义是在等温等压过程中, 除体积变化所做的功以外, 从系统所能获得的最大功。

如果系统有 Ni 个物质组成, 则自由能为温度、压力和组成系统的 Ni 个物质的函数:

G=G(T,P,{Ni})

其中, {Ni} 为全成分变量, 主要描述系统组成物及所含化学物质的数量, 以阿伏伽德罗数(或称莫耳

数)做为分子数量表示。

全微分方程式为:

dG=(∂G/∂T)_{P,Ni}dT+(∂G/∂P)_{T,Ni}dP+∑_i(∂G/∂Ni)_{T,P,Ni}

dNi

若系统中只有 PV 做功, 则有

dG=-SdT+VdP+∑_iμ_idNi

其中 μ_i 为系统内第 i 个物质的化学势

μ_i=(∂G/∂Ni)_{T,P,N_j,etc.}

在温度(T)及压力(P)为定值情况下

(dG)_{T,P}=∑_iμ_idNi

自由能 G 可以用来判断一个过程能否发生。当一个化学反应或物理变化过程, 在等温等压且不作体积功的条件下, 如果 ΔG>0, 过程可以进行; ΔG=0 系统处于平衡态; ΔG<0 则过程不能发生。

从 Gibbs 函数可以导出化学亲和度 A

A=(∂G/∂ξ)_{T,P}=∑_iμ_iv_i

其中 ξ 表示反应度, v_i 为化学计量系数。

化学亲和度始终为正, 而反应的方向必须遵循下列不等式:

dS=1/T ∑_iμ_iv_idξ ≥ 0

在标准温压条件下(STP), H-C 碳氢化合物系统的化学势的热力学能谱见图 2。从图易见, 整个碳氢化合物系统的化学势是随着聚合度的增大而线性增大的。这种随聚合度增大而化学势增大与氢-碳-氧(H-C-O)系统氧化的生物碳(有机)化合物的热力学谱大相径庭。有机化合物的化学势是随着聚合度的增大而减少的, 这一性质使得它在高聚合度时复杂的有机化合物可以共存。

审视生物化合物(H-C-O 系统)的化学势, 几乎所有生物化合物均低于能量最小的甲烷。虽然有的有机分子的化学势极高, 如 β-胡萝卜素(C₄₀H₅₆), 维生素 D (C₂₈H₄₄O), 以及某些外激素荷尔蒙, 但有些化合物数量极少。并且只有在它们活着的时候产生这些物质, 死亡后也就消亡。

根据 H-C 系统与 H-C-O 系统的热力学能谱, 以及热力学第二定律, 可以建立天然石油下列三个

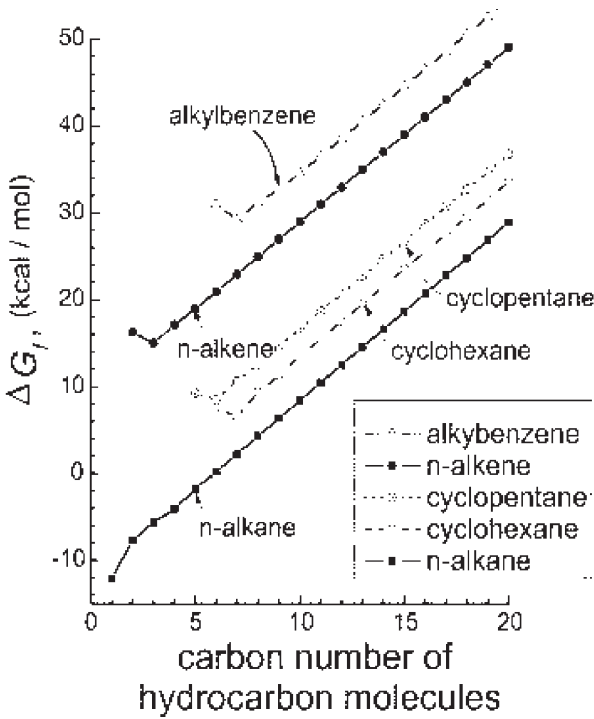


图 2 在 STP 条件下自然生成碳氢化合物的摩尔 Gibbs 能 ΔG_f 其中 Alkylbenzene 烷基苯, n-alkene 烯烃 cyclopentane 环戊烷, cyclohexane, 环己烷 n-alkane 烷烃

Fig.2 Molar Gibbs energies of formation, ΔG_f , of the naturally occurring hydrocarbons at STP

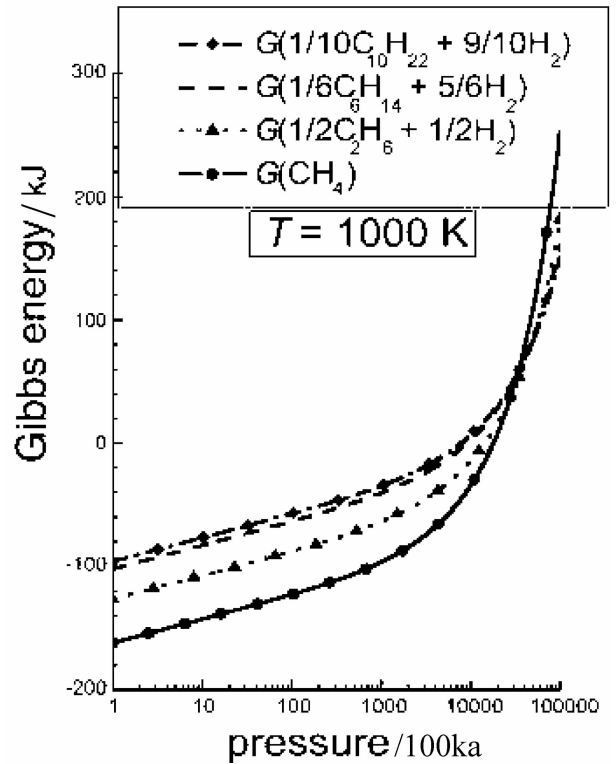


图 3 甲烷与 H-C 体系 $[(1/n)C_nH_{2n+2} + (n-1)/nH_2]$ 的 Gibbs 能

Fig.3 Gibbs energies of methane and of the H-C system $[(1/n)C_nH_{2n+2} + (n-1)/nH_2]$.

重要性质:

(1)组成天然石油的 H-C 系统是在一个非常不平衡状态下的一个亚稳态系统。在低压条件下,所有较重的碳氢化合物分子在热力学上是不稳定的,会分解为甲烷和碳。就像金刚石变成石墨。

(2)不论温度多少,在低压下,甲烷不会聚合成重碳氢化合物分子。相反,在低压下,增高温度会使较重的碳氢化合物加速分解为甲烷和碳。

(3)任何在低压下产生的重于甲烷的碳氢化合物都是不稳定的,它们趋向于平衡状态的甲烷和碳。

在 STP,甲烷是化学势最低,并是唯一一个热力学稳定的碳氢化合物。因此可将较重的碳氢化合物的亲和力计算结果与甲烷相比较。

当温度为 1 000 kPa,压力从 100 kPa 增加到 1×10^7 kPa 时, H-C 系统 $[(1/n)C_nH_{2n+2} + (n-1)/nH_2]$ 中的甲烷(CH₄),乙烷(C₂H₆),己烷(C₆H₁₄),癸烷(C₁₀H₂₂)的 Gibbs 能的计算结果(图 3)显示:

(1)在低压状态下,除甲烷而外,具有较高化学势的较重碳氢化合物的分子是不能自然产生的。

(2)除甲烷而外,具有较高化学势的较重碳氢化合物分子是 H-C 体系的高压同质多形体,只能在 $\geq 2.5 \times 10^6$ kPa 时自然形成。

(3)较重的烷类是不稳定的,无需升高温度就会分解。相反,在高压时,甲烷转换成较重的烷类,温度增大时,转换过程加强。

虽然此分析描述了 H-C 体系的热力学稳定性,但是并没有明确的对地球深部条件下天然石油的生成过程作出回答。地球的化学条件,尤其是近地表,是一个大气和地壳气体的氧化条件,而非还原条件,没有氢,极少甲烷。虽然在碳质陨石内有甲烷和较重碳氢化合物参与地球的增生过程,但它们的分子在原始成分中可能并不存在。因而,碳氢化合物来自固体碳化合物和上地幔的残留水。

为了验证理论分析的预测,设计了一个可研究压力达 5×10^6 kPa,温度达 1 500°C,并可保持在高压下快速冷却的特殊的高压仪器。通过实验证明高压生成石油碳氢化合物只能用纯度为 99.9%的固态氧化铁(FeO)及大理岩(CaCO₃),并用三次蒸馏的水

浸泡。虽然有地幔成因的岩浆 CaCO_3 (碳酸岩), 但更有理由认为碳在地幔中以高密度的相存在, 如立方体(金刚石), 六角体(六方金刚石)或不规则包裹体(赵击石)。在压力低于 1×10^6 kPa 时, 没有任何重于甲烷的碳氢化合物出现。当压力大于 3×10^6 kPa 时, 逐步形成碳氢化合物分子。当压力达到 5×10^6 kPa, 温度达到 1500°C 时, 产生甲烷(methane), 乙烷(ethane), 丙烷(propane), 2-甲基丙烷(2-methylpropane), 2,2-二甲基丙烷(2,2-dimethylpropane), 丁烷(n-butane), 2-甲基丁烷(2-methylbutane), 戊烷(n-pentane), 2-甲基戊烷(2-methylpentane), 己烷(n-hexane), 及烷烃(n-alkanes), 乙烯(ethene), 丙烯(n-propene), 丁烯(n-butene), 以及戊烯(n-pentene)。图4示 C_2H_6 至 C_6H_{14} 的积累丰度与温度的关系。右侧标尺为甲烷, 它的丰度比其他较重烷烃要大一个级次。当温度高于 900°C 时, 碳氢化合物的产出趋于稳定, 热力学上达到平衡。在温度增大至 300 K 演变的碳氢化合物保持稳定。

3 T Gold 等的无机原生生油假说^[1]

西方无机生油研究工作的代表人物是美国 Cornell 大学 Thomas Gold(1920—2004)教授。

Gold 教授是一位天体物理学家, 他洞悉碳是宇宙第四位丰富的元素, 并且多以碳氢化合物的形式存在。在太阳系中的外行星, 木星、土星、天王星、海王星及其卫星的物质中有大量的甲烷存在^[15]。整个一组碳氢化合物都能够在地幔中以无机的过程生成, 以碳氢化合物的分子(主要是甲烷), 以及碳元素、二氧化碳及碳酸盐等形式存在。这些碳氢化合物可以籍大地震等作用形成的地壳内断裂裂隙运移到地壳, 直至地表, 被不渗透层所圈闭, 形成石油油储^[16]。

Gold 在瑞典西丽洋陨石坑实施了钻探。西丽洋陨石坑的花岗岩基底在 370 Ma 以前被一个直径约 40 km 的陨石撞击而破碎, 油从地幔渗出地表。钻井产出 15 t 油^[17]。虽然未能得到工业油流, 但是发现有黑泥。Gold 推测发现的黑泥是细菌形成的。他认为有些喜温细菌菌族是由这些黑泥培养出来的。这些细菌存活温度上限为 $110\sim 150^\circ\text{C}$, 相当于地壳内深度为 $5\sim 10\text{ km}$ 。Ourisson 等认为在沉积岩中普遍存在藿烷类细菌, 其丰度可达 10131014 t 。这使得 Gold 产生一个观念, 认为有的看成是石油的生物标

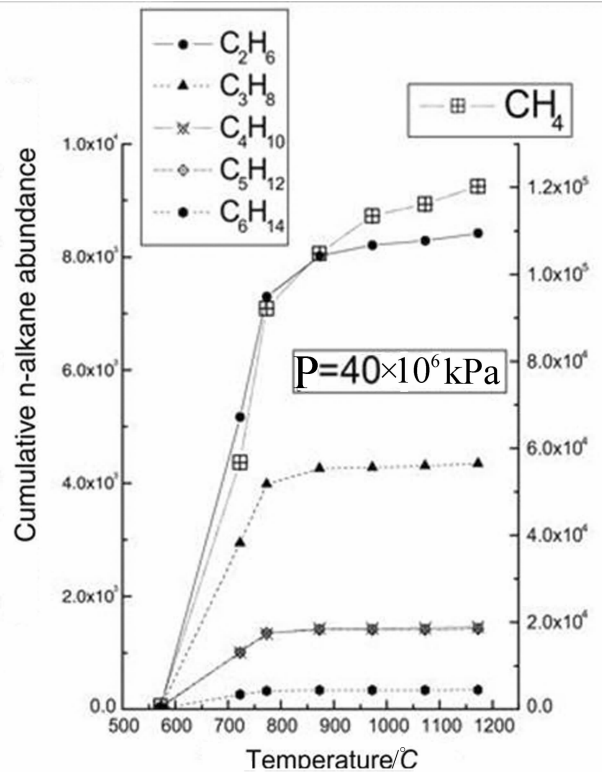


图4 在压力为 40 kbar , $\text{n-C}_6\text{H}_{14}$ 的累积丰度(左侧纵坐标)和甲烷的累积丰度(右侧纵坐标)随温度的变化
Fig.4 Cumulative abundances of n-alkanes through n-C₆H₁₄ on left ordinate, methane abundance on right, as functions of temperature at the pressure of 40 kbar . (scales in ppm.)

志的化合物, 如降植烷和植烷, 不是像通常所想的那样来自叶绿素, 而是细菌残留物的分解。这促使 Gold 提出“深部热生物圈”。维持这些细菌存活能量来自富含氢和甲烷的深部流体。

但 Gold 对“深部”的表述前后矛盾。在他的深部地球气体假说中是指地球的深部, 即是地幔。但在他的深部热生物圈则指地表 $5\sim 10\text{ km}$ 的上地壳。

在 Gold 的无机生油理论中有一个致命的缺陷, 正如前述, 甲烷转换为高碳氢化合物需要压力大于 $3 \times 10^6\text{ kPa}$, 相当于地表下 100 km 。在上地壳内甲烷转换成较高碳氢化合物的假设违背热力学第二定律。细菌不能催化热力学不可能的反应。因而, Gold 的上地壳转换论是错误的。

4 中国到哪里去找石油?

无机生油学说曾一度风行全球, 但因为未能预测新油井在 20 世纪末已淡出视线^[1]。究其原因, 最可

能是预测未能和深部构造研究相结合,以及探测基底构造的复杂性。本文试图从中国深部构造出发,来探讨到何处寻找大型到巨型油气田。中国主要油气田分布如图 5 所示。

(1)根据无机生油假说,油气生成于地幔。虽然它在深部的分布规律尚不明确,但生成后必定要有通道向上运移。这便成为寻找无机油气的区域背景。

中国东部和西太平洋是一个岩石圈地幔撕裂的地区。软流圈从撕裂的口子向上涌出,形成一个蘑菇云构造,这个蘑菇云构造分布范围见图 6^[18-21]。

上升的软流圈是低速体。根据 P 波层析低速体可以勾画出华北岩石圈蘑菇云柄的形态。将华北地区岩石圈地幔中蘑菇云柄的形态与已知油气田分布投在同一图上(图 7)。可以识别出 5 个蘑菇云柄: I 号蘑菇云柄从信阳,经固始,淮南,蚌埠到淮阳和泗阳,在固始处,低速层深 100 多千米,并且下延超过 150 km,到泗阳抬升到 50~60 km,并且在其下出现高速层; II 号蘑菇云柄从南阳,经洛阳到长治。低速带顶部深度在南阳约为 70 km,从洛阳~长治,加深

到约 120 km,低速带的西部未圈定; III 号蘑菇云柄。从枣庄到潍坊,向东北方向延伸。低速层深约 80 km,下沿超过 150 km; IV 号蘑菇云柄西界为石家庄,郑州,南达许昌,东界商丘,济南,包括渤海在内的地区,是一个规模最为宏大的低速带; V 号低速带,在平面上形成弧形,其东界为大同,太原,西界则为呼和浩特^[18]。

可以看出, IV 号蘑菇云柄大体上与华北裂谷的分布位置相近,但不完全符合。V 号蘑菇云柄位于汾渭裂谷之西,范围比汾渭裂谷大,地表汾渭裂谷的北端转向北京怀柔,但 V 号蘑菇云柄转向张北熔岩台地。II 号蘑菇云柄的南部达到南阳盆地。

与发现的油气田位置相比较,所有已知油气田都分布在 IV 号蘑菇云柄上。推测强大的软流圈上升流,以雷霆万钧之力直立状向上喷溢,它带来的油气均分布在蘑菇云柄周围一个不大的范围内。

因此,建议探索 IV 号低速体的东南部,是否还能找到新油气田。建议探索其他 4 个蘑菇云柄分布地区的含油气田的可能性。建议南阳盆地油田能重新

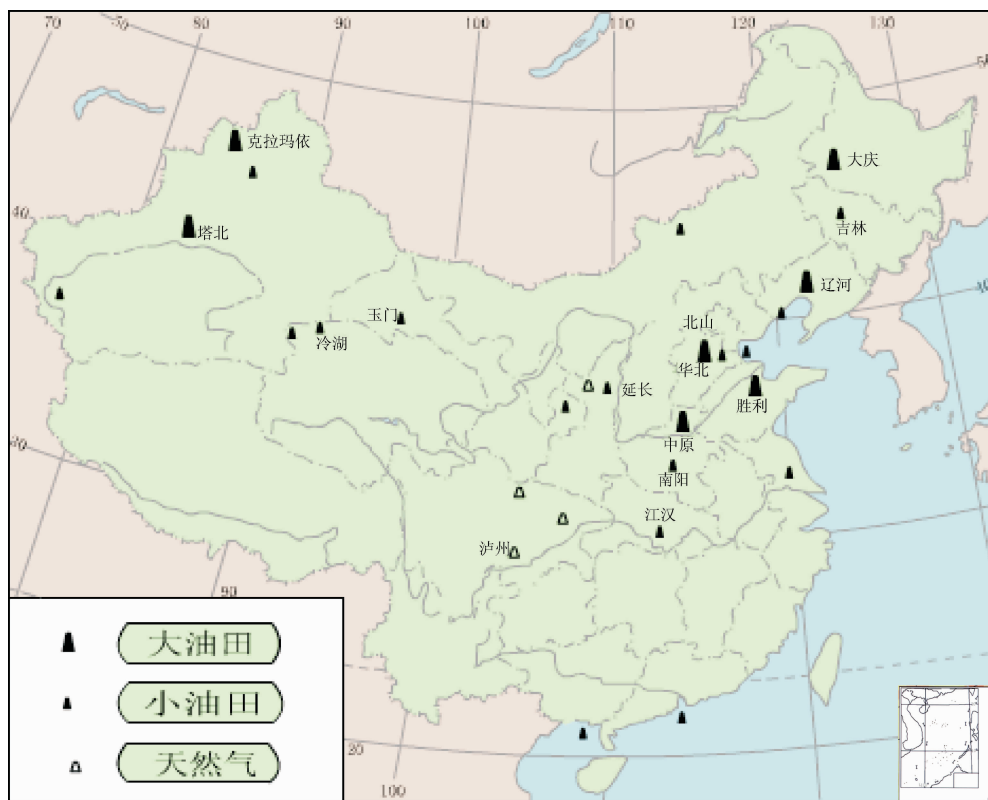


图 5 中国主要油气田分布图

Fig.5 The distribution of oil fields in China

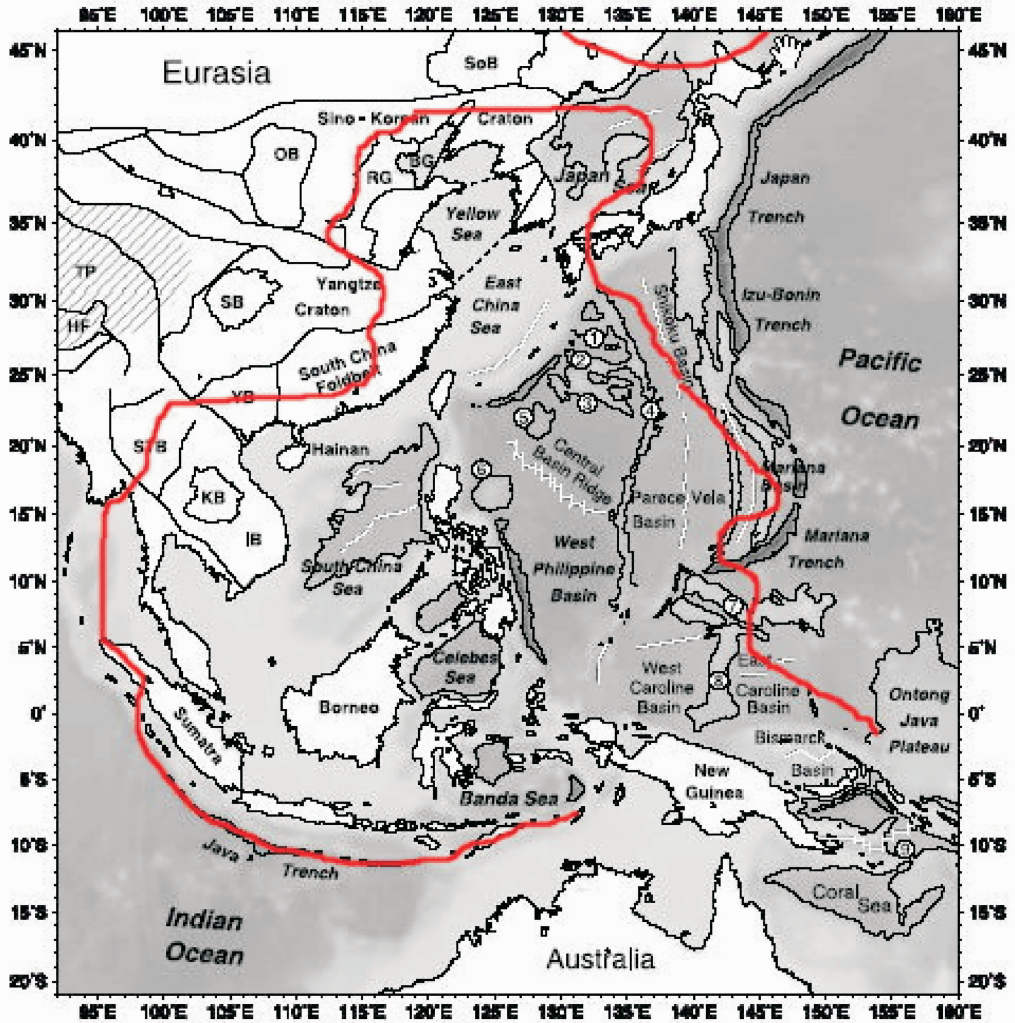


图6 东亚-西太平洋低速岩石圈范围

图中红线为低速岩石圈边界,斜线为西藏高原及其周边山系;BG—渤海湾;HF—喜马拉雅褶皱系;IB—印支地块;KB—呵叻盆地(呵叻海台);OB—鄂尔多斯盆地;RG—华北东部裂谷;SB—四川盆地;SoB—松辽盆地;STB—山寨地块;TP—西藏高原;YB—右江地块;用海底等深线勾画出边缘海盆、海台、海岭及海沟;双线表示活动扩张中心;①—奄美海台;②—大东海岭;③—隐歧大东海岭;④—帕劳九州海岭;⑤—Urganeta 海台;⑥—Benham 海隆;⑦—加罗林海岭;⑧—欧里皮克海岭;⑨—伍德拉克海盆;其他地名: Eurasia—欧亚大陆; Pacific Ocean—太平洋; Indian Ocean—印度洋; Japan—日本; Australia—澳大利亚;

Sino-Korean Craton—中朝克拉通, Yangtze Craton—扬子克拉通, South China Foldbelt—华南褶皱带; Hanan—海南岛; Borneo—婆罗洲; Sumatra—苏门达拉; Yellow Sea—黄海; East China Sea—东海; South China Sea—南海; Celebes Sea—西里伯斯海; Banda Sea—班达海; Coral Sea—珊瑚海; Shikoku Basin—四国海盆; Central Basin Ridge—中央盆地海岭; West Philippine Basin—西菲律宾盆地; East Caroline Basin—东加罗林盆地; West Caroline Basin—西加罗林盆地; Caroline Basin—加罗林盆地; Parece Vela Basin—帕里西维拉海盆; Bismarck Basin—俾斯麦盆地; Ontong Java Plateau—翁通爪哇海台; Japan Trench—日本海沟; Izu-Bonin Trench—伊豆-小笠原海沟; Mariana Trench—马里亚纳海沟; Java Trench—爪哇海沟

Fig.6 Low-velocity lithosphere of Southeast Asia and the western Pacific

Red line is the boundary of low-velocity lithosphere, oblique line is the Tibetan Plateau and surrounding mountain systems. The abbreviations: BG-Bohai Gulf; HF-Himalaya fold system; IB-Indochina Block; KB- Khorat Basin (Khorat Plateau); OB-Ordos Basin (Ordos Plateau); RG, Eastern North China rift group; SB- Sichuan Basin; SoB-Songliao Basin; STB-Shan Thai Block; TP-Tibetan Plateau; YB-Youjiang Block. Selected marginal basins and underwater plateaus, ridges, and trenches are outlined with bathymetric contours, chosen for each feature. Double lines indicate spreading centers, active and extinct. ①-Amami Plateau; ②-Daito Ridge; ③-Oki-Daito Ridge; ④-Palau Kyushu Ridge; ⑤-Urganeta Plateau; ⑥-Benham Rise; ⑦-Caroline Ridge; ⑧-Eauripik Ridge; ⑨-Woodlark Basin

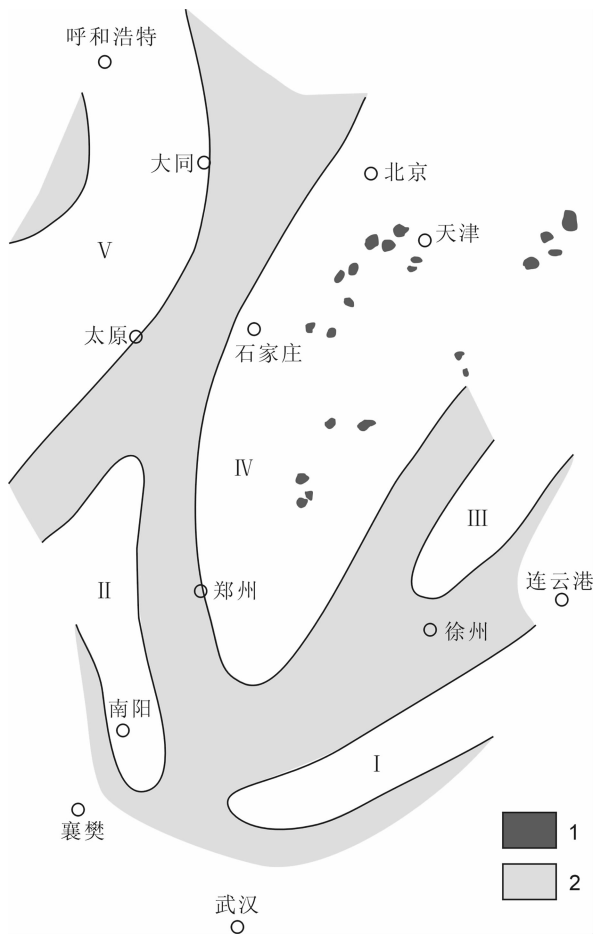


图 7 华北岩石圈蘑菇云构造的蘑菇云柄形态与油气田的分布^[18]

1—蘑菇云柄;2—油气田

Fig.7 The distribution of stems of lithospheric mushroom cloud with the distribution of oil fields in North China^[18]

1— Stems of lithospheric mushroom cloud;2— Oil fields

评估其基底的含油气性质。

(2)有报道华北盆地和松辽盆地存在无机成因的油气田。Zian, Guo 等^[22]认为中国胜利油田和松辽盆地中的天然气是幔源的。郭占谦等^[23-25]认为松辽盆地自 1994 年发现肇州西和昌德两个无机烷烃气藏以来,近几年又发现了一批无机成因烷烃气和幔源 CO₂ 气井,对老井资料复查也发现一些井中有无机成因烷烃气的存在,使松辽盆地无机成因烷烃气的分布有所扩大。

根据上述无机生油假说的 Kudryavtsev 法则:“在任何地区的一个层位上发现有碳氢化合物,那么从这个层位直至基岩,以及基岩内的所有层位,或多或少都会有碳氢化合物。所有油田都有顶盖,阻断碳氢化合物的继续向上运移。顶盖使碳氢化合物得以

保存。”推测在已发现的油气田的深部应该还有油气藏。特别值得重视的是是否有丰富的基底油气田。在前苏联,根据无机生油的假说,对里海的 80 多个油气田的基底进行勘探和开发^[26]。在西西伯利亚克拉通沉积盆地的勘探导致 90 个油田的开发,其中 80 个部分或全部来自结晶基底。在 Dnieper-Donets 盆地的北缘一个 100 km× 600 km 条带内开发了 50 个工业油气田。为了检测结晶基岩内的油气潜力在阿塞拜疆、鞑靼斯坦和西伯利亚打了深钻^[26]。

为深入了解中国东部油气远景,首要的任务是在已知油气田上打超深参数井,了解从已知含油气层位到基岩,以及基岩内各层的含油性。

(3)寻找无机油气田酷似围堵鱼群。上升的油气被围在利于储油气的空隙中,被良好的盖层堵截。具体油气田的发现,还要充分发挥物探的作用,找到有利的构造或岩性。在基岩中的油气大都储存于近于直立的断裂中,形成油气柱,但其储量极大,似乎是取之不尽,用之不竭。更要物探科技人员花力气寻找。

下辽河兴隆台油气田位于下辽河凹陷的西部凹陷中,油田地层为太古宙浅变质花岗岩,中生代花岗角砾岩,及侵入岩(安山岩和玄武岩)。基底岩石为太古宙花岗岩。1976 年底,在兴隆台油气田打了 8 口生产井,钻入中生代火山岩的单井日产油约 756 bbl。另一口钻入花岗岩和花岗角砾岩的井,日产 210~420 bbl。兴隆台基底油田是一个高压、高饱和碳氢化合物柱,高度约 700 m,气柱约 180 m,同时并有一个不小于 500 m 的油柱。是一个非常值得重视的启示^[8]。

(4)控制地幔物质上流的是地壳内的一些高渗透力的地带,如巨型断裂、裂谷等,这些地区也往往是油气迁移的通道。如法国的 Limagne 地堑,西伯利亚的贝加尔裂谷和 Barguzin 地堑,乌克兰的 Dnieper-Donets 地堑,西德的莱茵地堑,埃及的苏伊士,约旦的死海,巴西的 Reconcavo 等。深部构造的研究甚为重要。

(5)中国西部油气田

1959 年发现的鸭儿峡油田位于酒泉盆地内,是中国第一个基底油储。油产出在由千枚岩、板岩和变质砂岩所组成的古生代坚硬致密的变质岩中的断层和裂隙带中。日产量为 1050 bbl^[8]。

塔里木盆地内的库尔勒油田也是一个基底油田。石油储存在奥陶纪灰岩的溶洞中。

张景廉等^①对塔里木盆地干酪根和沥青、辽河油田古近系干酪根和沥青 A 以及原油进行了 Pb、Sr、Nd 同位素研究,结果表明:准噶尔、塔里木和辽河 3 个盆地的沥青及原油的 Pb 同位素均显示出了壳-幔相互作用的特征。

图 8 为深度 150 km 的 S 波地震层析切片^① 2006, 这个切片深度大体上相当于生成高碳氢化合物深度界限的下部。图中显示在东经 110 以东是低速热岩石圈分布地区。在东经 110 以西,则是高速冷岩石圈分布地区。但在西部高速冷岩石圈分布地区,还出现几处相对低速的区域:一是从乌兹别克共和国的撒马尔罕,经哈萨克斯坦的阿拉木图南,中国伊宁,蒙古人民共和国的科布多、巴尔治坎到大兴安岭北。另一处是塔里木盆地呈一个孤立的低速区存在,它的中心在且末。看来,我国西部地区找油气最有远景的地区是塔里木盆地。

5 小结

(1)无机生油假说得到地质实地观察、化学上室

内合成和工业生产(费托合成),以及化学(物理学)热力学的严密推导和实验室验证等三方面的支持。但是在深部如何合成重碳氢化合物的细节上尚不清楚。因而它还是一个假说。

(2)费托合成是一项非常重要的发明,它雄辩地说明,石油是可以无机合成的,并且已在二战中的德国付诸实际应用。

(3)根据化学热力学理论分析,只有在压力大于 2×10^6 kPa~ 3×10^6 kPa (相当于地表下深度大于 100 km 处,见图 9)温度大于 700°C 时,H-C 体系才能生成乙烷及更重的碳氢化合物。在地壳的温压条件下,生物不能转换成石油。因此,压力 $>3 \times 10^6$ kPa、温度 $>700^\circ\text{C}$ 是形成石油的必要条件。换句话说,要形成石油,必须在在压力 $>3 \times 10^6$ kPa 温度 $>700^\circ\text{C}$ 时才有可能。但它不是充分条件。

(4)在地幔内生成石油后,还必须要有一些碳氢化合物流体上升的通道,以及在地壳上部有储油的圈闭和防止油气逃逸的盖层。这就需要石油物探工作者的卓越努力和发扬他们的聪明才智。要注意基

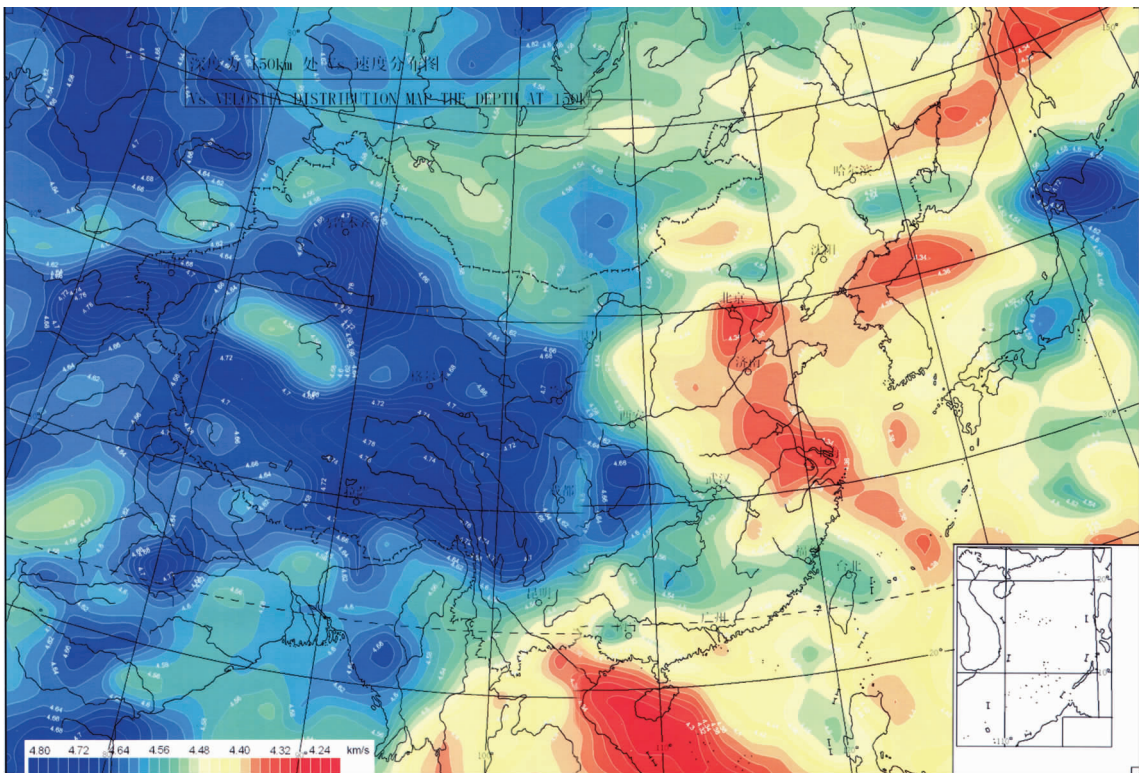


图 8 深度为 150 km 的 S 波地震层析切片(据朱介寿^①,2006)

Fig.8 S wave tomographic slice at the depth of 159km

①耿树方主编。中国岩石圈三围结构图册。中国地质科学院地质研究所,2006。

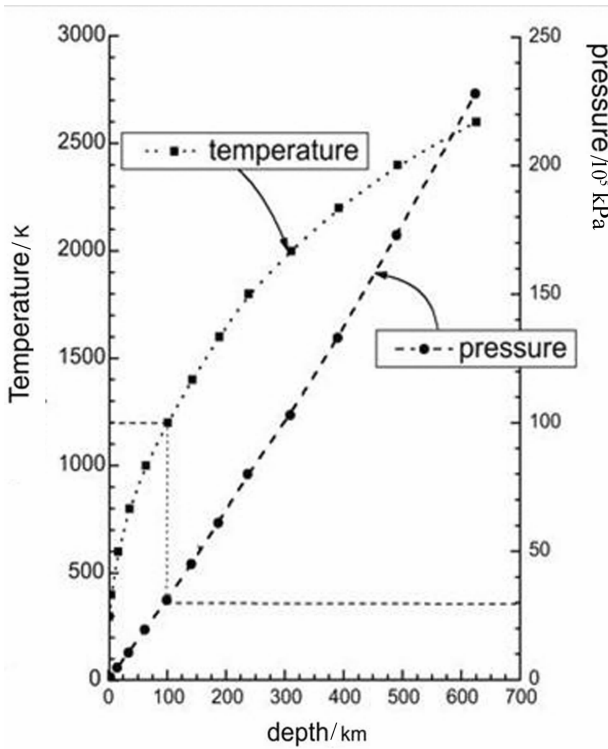


图 9 地球深处的压力和温度^[14]

Fig.9 Pressure and temperature in the depth of the Earth^[14]

岩内的地震反射亮点和三维结构。要布置超深参数钻,以了解沉积层各层位以及基底内地层的含油性。

(5)在 20 世纪,无机生油假说未能有效指导预测油气田的主要原因是它未能和深部构造的研究相结合,未能根据深部构造圈出生成油气的区域深部构造背景。要走出这一步决非易事,要由地质学家、地球物理学家、地球化学家和钻探工程科技工作者的共同努力。

(6)根据目前有限资料,中国最有远景的无机油气田的地区是东部裂陷盆地、邻近海区与新疆地区。

(7)蛇纹岩过程生油在化学反应的理论和实验中是成立的,但蛇纹岩的合成和尖晶石的破裂反应需要原始的橄榄岩和纯橄榄岩发生热液蚀变,需要大量的水。并且蛇纹岩在地幔温度中是不稳定的,很快脱水成为麻粒岩、角闪岩、片岩,甚至成为榴辉岩。这意味着蛇纹岩过程甲烷生成限于洋中脊或俯冲带上部。因而这个与水密切有关的反应依赖于地区条件。在克拉通间地区此过程产生油受制于物质和温度。

致谢:本文在写作过程中,曾和肖序常院士进行

过多次有益的讨论,论文完成后,又经肖序常院士审阅,特此感谢。

参考文献 (References):

- [1] Glasby, Geoffrey P. Abiogenic origin of hydrocarbons:an historical overview [J]. Resource Geology, 2006, 56 (1):83-96.
- [2] Open University, Earth's Physical Resources: Petroleum. http://openlearn.open.ac.uk/course/view.php?name=S278_1
- [3] 中国石油新闻中心. 中国陆相石油地质理论的发展, 2007. <http://news.cnpc.com.cn>
CNPC. The Development of Terrestrial Facies Theory on Origin of Petroleum in China [2007-09-07 09:03]. <http://news.cnpc.com.cn>.
- [4] 胡社荣. 中国早期陆相生油理论新考 [J]. 石油学报, 1999, (2) : 104-106.
Hu Sherong. The early stage of the terrestrial facies theory on origin of petroleum in China [J].Acta Petrolei Sinica, 1999, (2):104-106 (in Chinese with English abstract).
- [5] Wikipedia, Abiogenic petroleum origin. http://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenic_petroleum_origin
- [6] Wikipedia, Nikolai Kudryavtsev. http://en.wikipedia.org/wiki/Nikolai_Kudryavtsev
- [7] Kudryavtsev N A. Petroleum economy [J]. Neftianoye Khozyaistvo, 1951(9): 17 - 29 (in Russian).
- [8] Anirbid Sircar,Hydrocarbon production from fractured basement formations [J]. Current Science,2004,87 (2):147-151.
- [9] Kudryavtsev N A. Oil and Gas Origin[M]. Nedra, Moscow. 1973: 216(in Russian).
- [10] Szatmari P. Petroleum formation by Fischer-Tropsch Synthesis in Plate Tectonics [J]. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1989, 73(8):989-998.
- [11] Szatmari P, Da Fonseca T, Miekeley N. Trace Element Evidence for Major Contribution to Commercial Oils by Serpentinizing Mantle Peridotites [C]. AAPG Research Conference, Calgary, Canada, 2005.
- [12] Charlou J L, Donval J P, Jean-Baptiste P, et al. Abiogenic Petroleum Generated by Serpentinization of Oceanic Mantellic Rocks[C]. AAPG Research Conference, 2005.
- [13] Keith S, Swan M. Hydrothermal Hydrocarbons [C] AAPG Research Conference, 2005, Calgary, Canada, 2005.
- [14] Kenney J, Kutcherov V, Bendeliani N ,et al. The evolution of multicomponent systems at high pressures: VI. The thermodynamic stability of the hydrogen-carbon system:The genesis of hydrocarbons and the origin of petroleum [J]. Proceedings of the National Academy of SciencesUSA 2002, 99:10976-10981.
- [15] Gold Thomas .The deep, hot biosphere [C]//Copernicus Books. 1999,
- [16] Gold Thomas . The Origin of Methane (and Oil) in the Crust of the Earth. U.S.G.S. Professional Paper 1993, The Future of Energy Gases. USGS. Retrieved on 2006-10 -10.

- [17] Gold T. Power from the Earth: Deep Earth Gas—Energy for the Future[M]. J. M. Dent and Sons Ltd, London, 1987:197.
- [18] 袁学诚, 秦岭岩石圈速度结构与蘑菇云构造模型[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26,(3):209–215.
Yuan Xuecheng: Velocity structure of the Qinling lithosphere and mushroom cloud model [J]. Science in China (SeriesD), 1996, 36 (3):235–244(in Chinese).
- [19] 袁学诚. 再论岩石圈地幔蘑菇云构造及其深部成因 [J], 中国地质, 2007, 34(5), 737–758.
Yuan Xuecheng. Mushroom structure of the lithospheric mantle and its genesis at depth:revisited[J] Geology in China, 2007, 34(5), 737–758(in Chinese with English abstract).
- [20] 袁学诚, 华九如. 华南岩石圈三维结构 [J]. 中国地质, 2011, 38 (1):1–19.
Yuan Xuecheng, Hua Jiuru. 3DLithospheric structure of South China [J]. Geology in China, 2011, 38 (1):1–19 (in Chinese with English abstract).
- [21] 袁学诚, 李善芳, 管 焯. 瑞雷-泰勒不稳定性与中国东部岩石圈—三论岩石圈地幔蘑菇云构造[J]. 中国地质, 2012, 39(1):1–11.
Yuan Xuecheng, Li Shanfang, Guan Ye. Reileigh -Taylor instability and lithosphere of eastern China [J],Geology in China, 2012, 39(1):1–11(in Chinese with English abstract).
- [22] Zi An, Guo Zhanqian, Bai Zhenguo, et al. Geochemistry and tectonic environment and reservoir formation of mantle-derived natural gas in the Songliao Basin, Northeastern China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004.
- [23] Guo Z Q, Wang X B, Abiotic origin gas in Songliao Basin [J]. Science in China (SeriesB), 1994, (3):
- [24] Guo Z Q, Wang X B, Liu W L. Reservoir-forming features of abiotic origin gas in Songliao Basin [J]. Science in China (SeriesD), 1997, 40(6):621–626.
- [25] 郭占谦, 杨步增, 李星军, 等. 松辽盆地无机成因气藏模式[J]. 天然气工业, 2000, 20(6), 30–33.
Guo Zhanqian, Yang Buzeng, Li Xingjun, et al. Abiogenic gas reservoir modes found in Songliao basin [J]. Natur. Gas Ind., 2000, 20(6):30–33(in Chinese with English abstract).
- [26] Kenney J F. Considerations about recent predictions of impending shortages of petroleum evaluated from the perspective of modern petroleum science [J]. Energy World, 1996, 240:16–18. <http://www.gasresources.net>.
- [27] 张景廉, 张虎权, 张宁, 等. 非生物(无机)成因油气基础科学问题 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(1):19–24.
Zhang Jinglian, Zhang Huquan, Zhang Ning, et al. The fundamental science and theory on abiogenic (inorganic origin) oil and gas [J]. Natural Gas Earth Science, 2006, 17 (1):19–24 (in Chinese with English abstract).

The abiogenetic petroleum origin hypothesis and its application in China

YUAN Xue-cheng, LI Shan-fang

(Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: The abiogenetic petroleum origin hypothesis argues that the crude oil and natural petroleum gas have no intrinsic connection with biological matter originating near the surface of the Earth. They are primordial materials which have been erupted from great depths. Therefore, they are renewable resources instead of non-renewable resources. The abiogenetic hypothesis has been supported by geological, physical and chemical evidence. Geologists found that no source rocks could form enormous volumes of hydrocarbons in many huge oil fields, and that therefore the most plausible explanation is abiotic deep petroleum. Besides, oil and gas have been found in basal rocks or in sediments directly above basal rocks, which could hardly be explained by biogenetic hypothesis. In chemical aspect, the Fischer - Tropsch process (or Fischer - Tropsch synthesis) has converted a mixture of carbon monoxide and hydrogen into liquid hydrocarbons. By thermodynamical analysis, the most significant conclusion is that methane is the only hydrocarbon that is stable at STP. The formation of normal alkanes from methane is thermodynamically possible only at pressures >30 kbar and temperatures >700° C which correspond to a depth of ~100 km below the Earth's surface (equivalent to the depth of the upper mantle). As a result, higher hydrocarbons such as those found in natural petroleum at the Earth's surface are metastable. By contrast, the formation of higher hydrocarbons from oxidized organic molecules is not thermodynamically possible under any conditions. Based on deep structure study, the authors hold that East China and West Pacific area, where mashroom cloud mantle is developed, are favorable for finding abiogenetic oil fields. The authors suggest drilling deep boreholes to evaluate oil potential and strengthening geophysical exploration, especially for basal structure.

Key words: abiogenetic petroleum origin hypothesis; Fischer - Tropsch synthesis; serpentinite process; chemical thermodynamics; mushroom cloud mantle

About the first author: YUAN Xue-cheng, male, born in 1928, senior engineer, engages in researches on deep geophysics; E-mail: xcyuan@263.net.cn.