

渤海盆地石油成因的探讨*

栾作峰

(中国科学院海洋研究所)

关键词 渤海盆地, 石油成因

提要 本文提出了渤海盆地的石油成因。其形成过程是,地台强烈地活化,形成大量断陷盆地,使被深埋的沉积物处于高温状态,下部温度高,炭同水反应产生一氧化碳和氢气,上部温度稍低,有机质热解产生烃类,以及一部分来自岩浆活动中的一氧化碳和氢气,这些油和气沿断裂上升,被盖层阻挡浓集,之后在漫长的地质过程中合成了石油。

过去,我国一向被认为是一个贫油的国家,其主要原因是缺少中-新生代海相地层。60年代以来,我国相继发现大庆、胜利、大港等许多陆相大油田。随之我国石油地质工作者提出陆相生油理论,其成油机理与海相成油机理没有什么差别,只不过是石油形成在陆相地层中。从目前发表的文献中^[1-6,10,11]可以看出,不论是国内或国外,均以干酪根成油说占主导地位。

但有机成因说始终未能解决以下问题。(1)沉积岩中的分散有机质是怎样转化成石油的?(2)又怎样从岩石中运移出来?(3)为什么大油田与构造活动密切相关?

库德良采夫(H. A. Кудряшев)提出的岩浆成因说^[8],虽然解释石油的形成和运移问题有一定的道理,但其缺点是过分强调油气的岩浆来源,特别是与基性岩有关。

上述石油成因论点都不能完满地解释石油成因问题。根据目前已有资料,试图提出一个石油成因的设想,这个设想是基于构造运动和岩浆活动势必引起地壳深处的岩石处于高温状态,这样处于高温的炭与水作用产生 CO 和 H₂,碳酸岩分解产生 CO₂,再与炭作用产生 CO;

有机质在较高温度下热解产生石油烃,以及由岩浆来源的 CO 和 H₂ 及烃类一起沿断裂带上升,被上覆水盆沉积盖层阻挡而聚集,在漫长的地质历史进程中逐渐合成石油,其形成过程见图 1。

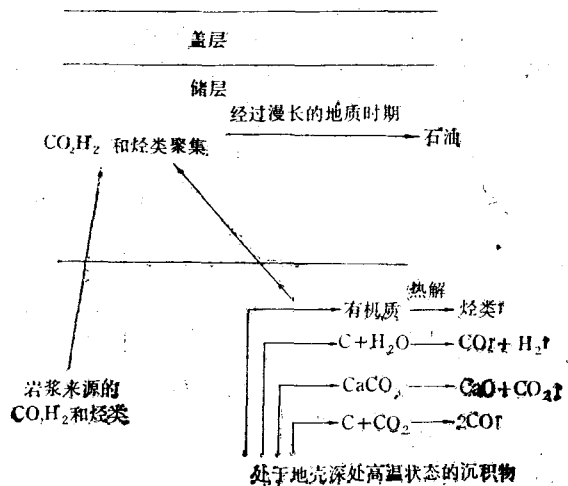


图1 油气来源及石油形成机理示意

Fig. 1 Sketch of genetical mechanism of petroleum

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1606号。本文承蒙张兆瑾教授审阅,并提出宝贵意见,谨致谢忱。

一、沉积岩中的分散有机质不能形成石油

本世纪 50 年代,当从现代沉积物中分离出少量烃类以后,石油有机成因论者认为石油是沉积岩中的分散有机质在成岩作用早期转化而成,已成定论。但是,早期成岩阶段烃类含量甚微,一般只有几十个 ppm,很少超过 100ppm,同现代生物烃类似,缺乏轻烃,这样少量的烃如何从沉积物中运移出来,是个难以回答的问题,因而早期成岩成油说逐渐被抛弃。当 60 年代初阿贝尔松 (P. H. Aberson) 热解干酪根时生成较多一点的烃类,又提出石油是沉积岩中不溶有机质热解生成的,都转而赞成干酪根成油说,目前国内外这个成油说很流行。近年来广泛进行着干酪根生油的模拟实验。而这些实验只能说明有机质的演化过程,生成的烃类不会从岩石中分离出来形成石油,因为实验的温度比认为的成油温度高 200℃ 以上。如亨特 (J. M. Hunt) 将犹他州始新世绿河页岩中不溶有机质在氮气中以不同温度加热,当温度达 400℃ 时产生的低分子量烃最多 (表 1)。

表 1 绿河页岩不溶有机质加热产物^[6]

Tab. 1 Product of unsoluable organic matters heated from green river shale

温度(°C)	产物 (ppm)			
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈ -C ₃ H ₁₈	nC ₇ H ₁₆
400	112	370	650	87
300	6	7	20	1.7
190	0.02	0.01	0.4	0.01

伊始瓦塔里 (R. Ishiwatari) 等人对现代海洋沉积物中的不溶有机质加热,当加热到 410℃ 时产生挥发物最多 (表 2)。

汪本善等人对海泥及沉积岩做了模拟实验并得出结果:当温度达 350℃ 时产生的沥青和烃类的量最多 (表 3)。

但根据黄第藩的资料,华北黄骅拗陷及东营凹陷第三系成油门限温度为 93—95℃。松

辽盆地白垩统成油门限温度为 65℃ 左右,松辽盆地较深水的湖相腐泥型母质成油深度为

表 2 现代海洋沉积物中不溶有机质加热产物^[6]

Tab. 2 Product of unsoluable organic matters heated in present marine sediments

加热		产物(占不溶有机质的%)		
温度(°C)	时间(h)	挥发性产物	液态产物	固态残余物
150	5.0	6.1	1.5	92.4
200	5.1	14.4	3.2	82.4
250	5.3	18.3	3.8	77.9
310	5.2	28.9	6.0	65.1
350	5.0	28.1	6.6	65.3
410	5.0	40.8	2.7	56.5

表 3 人工模拟石油演化条件及实验样品有机组分分析结果^[3]

Tab. 3 Model of petroleum evolutionary condition and analytical result of organic component from experimental samples

样品号	温度	压力	时间	C _{有机}	模拟沥青 A	饱和烃
	(°C)	(kg/cm ²)	(h)	(%)	(%)	(%)
NK-32	150	610	100	2.95	0.1568	0.0321
NK-32	250	850	100	2.64	0.3940	0.0704
NK-32	350	1090	100	2.25	1.5055	0.2569
海泥	150	350	100	0.53	0.0311	0.0177
海泥	250	610	100	0.54	0.0374	0.0188
海泥	350	850	100	0.52	0.0438	0.0197

1200—1300m, 温度为 65℃, 而沼泽相腐殖型母质成油深度为 1400—1850m, 温度为 75—95℃。汪本善等认为当黄骅拗陷成油深度为 2500m 时,成油温度为 85—90℃。

国外的路易斯 (Louis) 与蒂索 (Tissot)^[11] 确定巴黎盆地侏罗统托桑阶开始大量生油深度为 1400—1500m, 温度为 60℃。奥尔布雷克 (Albrecht)^[10] 对阿杜拉盆地上白垩统洛格巴巴系的研究之后,确定大量生油深度是在 1200—2200m, 实际上生出来的油并未运移出来形成石油的聚集。

由上述资料可以看出,干酪根实验所取得的生油温度与根据实际情况所推测的生油温度之间的温度差距甚大,达 200℃ 以上。这些作者都没有明确地指出生成的烃类是如何从沉积

岩中向外运移。如果所谓的生油岩在大量生成石油之后,便向储集层转移,势必引起所谓的生油岩中石油含量的明显变化,但事实上找不到这种变化。王新洲的不成熟生油岩的热压模拟实验结果¹⁾,同所谓的成熟生油岩类似,这正好说明了有机质演化的结果生成的烃类不能从岩石中分离出来。

实验室的模拟实验结果表明,沉积物的烃类含量,随着温度的升高而增加,但它们不能运移出来,而只能用强有机溶剂从实验样品中提取出来,由此可见,沉积物或沉积岩中的烃类是不能从沉积岩中大量分离出来的,因在漫长的地质历程中演化出来的少部分烃随时随地都在被粘土质点牢固地吸附,时间愈长吸附得愈牢固,因而更难运移出来。所以从现今的沉积物到古老的沉积岩,除形成少量的沥青外,大部分有机质都以炭化而告终。当有机质极其丰富时,在适当的条件下可形成油页岩和天然气。现代沉积物中如黄、渤、东海广泛地存在有泥炭层,就是有机质转向炭化所致。特别是自然界中的油页岩,其含油量要比所谓的生油岩高出几百倍甚至上千倍,它们在漫长的地质进程中尚不能运移出来,更难想象只含几百个 ppm 的所谓生油岩能够集油成田。虽然沉积岩中有机质转化成的少量烃不能从岩石中运移出来,然而对以后石油烃的合成,可以起到促进作用。

黄海、渤海、东海现代海洋沉积物的有机碳在粘土类沉积物中上下层位有机碳含量基本上无变化,这与过去普遍认为较上层的沉积物由于处在氧化条件和细菌活动频繁,因而与有机质损失很快的结论不符。黄海、渤海、东海沉积物有机质研究结果表明,在粘土类沉积物中变化很小。这是因为沉在海底的有机质大部分是较稳定的组分,在海水覆盖下较难变化,由此可以推论更下部层位的有机质由于处在还原条件下有机质损失更慢,因而古老的粘土岩中的有机质同现代粘土岩有机质比较不会损失很大。

有机生油论者认为,当沉积岩中的有机碳含量大于 1% 时,已是很好的生油岩。由原国

家地质总局中心实验室提出的方案(表 4)可以看出,有机碳含量大于 0.5% 的沉积岩就是较好的生油岩,如按这一标准,那么绝大多数泥岩都可以被认为是生油岩,因为大部分泥岩有机碳含量都高于 0.5%。如果在沉积岩中存在的少量烃能够运移出来,那么就会在沉积岩中广泛地出现石油,就是不形成油田也会广泛地形成油浸沉积物,但事实并非如此,广大沉积岩区多数无油或油浸沉积物,在沉积岩中广泛地存在炭质确是事实。

表 4 我国陆相泥岩生油条件与有机碳含量的关系^[6]

Tab. 4 Relationship between oilgenesis condition and the content of organic carbons in land facis mudstone in China

生油条件	特 征			
	岩 性	岩 相	地球化学相	C _{有机} (%)
最好	以黑色泥岩、页岩为主	较深—深湖相	还原—强还原	>1
好—较好	灰—灰色泥岩、页岩为主夹灰色砂泥岩	浅湖—较深湖相	还原	0.5—1
较好—较差	以灰—灰绿色泥岩为主	沼泽—浅湖相	弱还原—还原	0.3—0.5

众所周知,在研究沉积物或沉积岩的有机地球化学时,都是用强的有机溶剂对被粉碎的岩石粉末进行二十几个小时的热抽提,或在超声波作用下提取。可见,要想把这部分可溶的有机质从岩石分离出来是相当困难的,何况有机质的自然转化是在漫长的地质历史过程中逐渐转化完成的,而且很快被粘土质点和有机质所牢固地吸附。在沉积的初期和成岩的早期溶于水中的少部分烃可以运移,但其量是极其有限的,随着沉积物的压实和固结而终止。因而我们的结论是,沉积岩中的分散有机质在正常

1) 王新洲, 1982. 不成熟生油岩的热压模拟实验, 胜利油田地质科学研究所院刊。

的条件下不能形成石油。

二、石油形成的条件

石油的形成是一个复杂的问题,不能用简单的有机或无机成因来解释。大油田的形成必须具备好的构造、油源、储层、盖层条件,四者密切相关,缺一不可。

构造和油源是首要条件,二者密切相关,由于大的地壳构造活动才能使地壳深处处于高温状态,这样才能使岩石中的炭同水作用产生CO和H₂,之后沿断裂上升。而温度较高的上部层位有机质热解可以生成一部分石油烃,如果没有地壳的构造活动,油气也就无法生成。地壳深处的岩石富含炭对形成油气最为有利,另一方面由于地壳活动引起的岩浆活动也带一部分CO和H₂及烃类气体,这足以说明构造活动的重要意义。而这种构造活动在大陆边缘区较大陆区剧烈。有关岩浆源的CO和H₂及烃类,库德良采夫等人^[7,8]的著作中有较详细的阐述。

储盖条件也是极其重要的。构造活动中形成的CO和H₂及烃类不断向上输送时遇不到阻挡层和储层就不会浓集,而扩散到大气中去,这就形成不了石油。而正处在水盆沉积过程的盆地最为有利,由于沉积物还未固结,产生的断裂很快被弥合,有效地阻止产生的气体逸出而聚集起来,在漫长的地质过程中合成石油。这就是石油在沉积盆地中形成的主要原因。我国很多盆地就具备了这些条件,因而形成了很多陆相大油田。

在本世纪早期,人们对CO催化加氢进行了研究,首先沙巴替尔(Sabatier P.)和沈德伦斯(Senderens J. B.)用镍作催化剂合成甲烷。此后,德国的费歇尔(Fischer F.)和托罗普施(Tropsch H.)用铁族金属作催化剂,把这个反应发展成工业合成石油的方法,称“费-托合成反应”。安德斯等(1973)用费-托合成反应生成的C₁₅-C₁₆区间的烃同陨石及诺萨奇(nonesuch)页岩的烃很吻合。D. W. 努纳等

(Nooner et. al., 1976)进行了试验,反应产物经色谱质谱鉴定,发现有烷烃、烯烃(C₁₁-C₂₅)及其甲基取代物的异构体和芳烃,个别的反应产物中还有脂肪酸。因而所提出的由CO和H₂合成石油的机理是可行的。

三、渤海盆地石油的形成

这里所指的渤海盆地不仅仅是现今渤海本身,而包括整个华北盆地。渤海盆地的地质构造、地层结构,为油田的形成创造了有利的条件。

1. 构造条件

渤海盆地是属于大规模的拉张性断裂系统构造,是在华北地台上中生代时发展起来的断陷盆地,盆地基底由前震旦纪变质岩组成。古生代为标准的陆台沉积,缺失上奥陶、志留、泥盆及石炭系地层,石炭、二叠系为海陆相互层。到中生代时,由于太平洋板块挤压作用加剧,产生了强烈的活动,即燕山运动,主要以拱升断裂为主,在不断拱升和断裂中沉积了巨厚的中生代地层,并伴有岩浆活动。新生代时期主要表现为断块活动,在不断的断陷活动中相继沉积了较厚的第三系地层,沿大断裂有基性火山岩喷发,这就为油气的生成、运移创造了前提,为储盖油气创造了条件。

李德生^[9]指出,本区岩石圈曾发生过垂直隆起,同时莫霍面伴随上升,莫霍面隆起范围的直径可达300km,高达8km。在渤海海域第三系拗陷最深的部位有一个渤中重力高异常区,地震反射资料说明,该区沉积厚达7km的负向构造单元,但在此位置出现一个大圆形重力高异常带,这可能是由莫霍面隆起形成的地幔柱在重力上的反映。由于隆起幅度大,上层地壳产生极大的拉张量,因此,围绕渤海“地幔柱”产生一系列簸箕式凹陷或地堑式凹陷(图1)。阎敦实等^[9]将本区分为两个断块区和两个断陷带(图2),即冀黄断块区和渤鲁断块区以及黄骅—东濮断陷带、郑鲁断裂带,在盆地内有50余条基底大断裂。

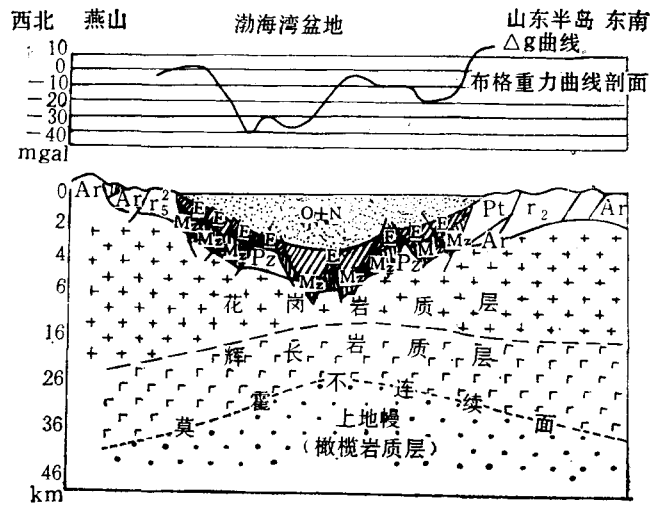


图2 渤海湾盆地地质—地震—重力剖面^[1]

Fig. 2 geological—Seismic—gravity profile of Bohai Bay basin

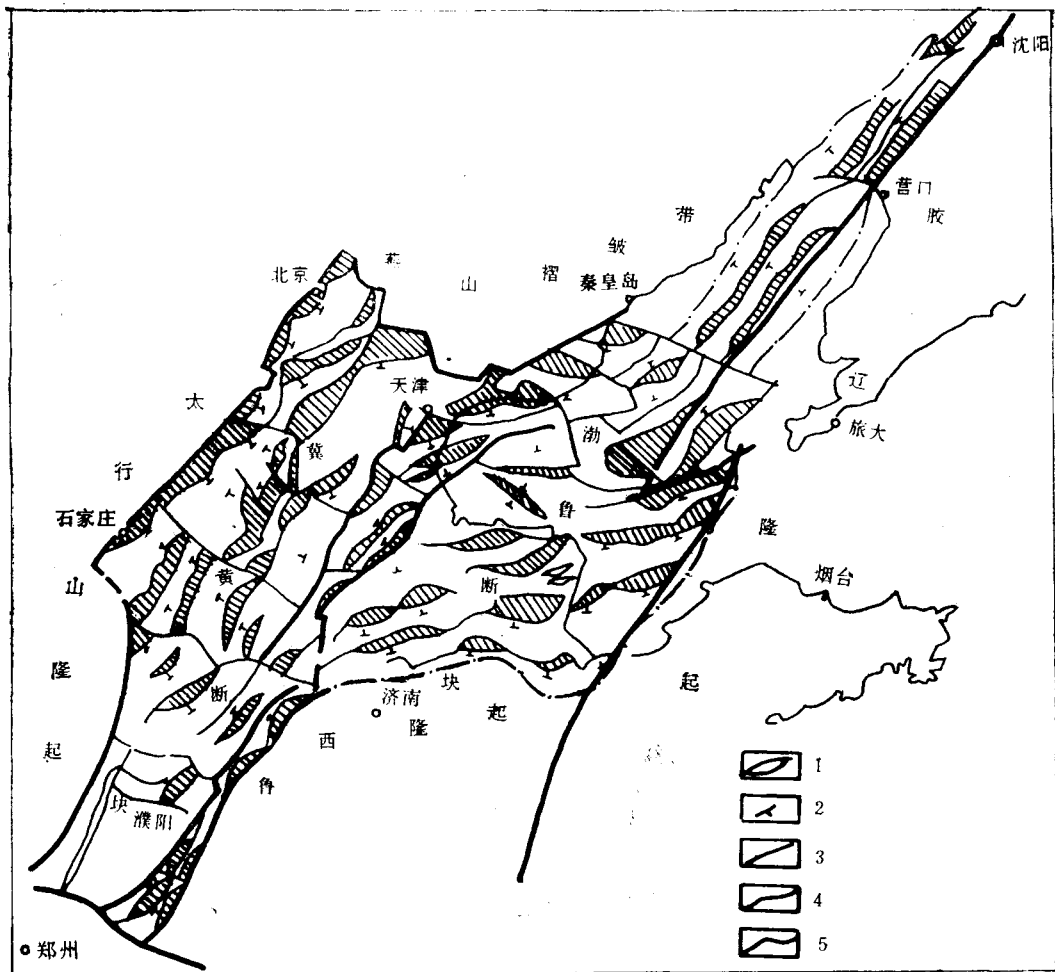


图3 渤海湾含油气区基岩断块体结构^[9]

Fig. 3 Fault block texture of bed rock in the area-bearing oil in Bohai Bay

1. 断层区; 2. 基底断块体倾斜方向; 3. 一级大断裂带; 4. 控制早第三纪沉积岩体的主断裂; 5. 盆地沉积边界

另外还有很多学者对本区的构造进行了研究,都充分说明了本区是以断裂活动为特征,而所有生油凹陷都是沿几个主要断裂带分布,这就充分说明了构造的重要性。

2. 油源条件

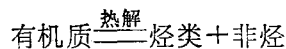
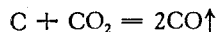
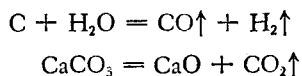
渤海盆地内油源比较充分,地壳深处广泛分布着古老的沉积岩。中生代以来,由于燕山运动和喜马拉雅山运动,形成一系列的断陷盆地,并伴有岩浆活动,使地壳深部岩石处于高温状态,处于高温的炭与水广泛地反应生成 CO 和 H₂,以及岩浆来源的 CO 和 H₂,在上部层位温度较低的情况下,有机质热解成油,这几部分来源的气体一起沿断裂带上升被正在快速沉积的泥质沉积物所阻挡而聚集起来。这些气体在漫长的地质年代中逐渐合成了石油。这两部分油气来源在渤海盆地是较丰富的,因为自中生代以来本区地壳活动频繁,具有较高的热源,地壳深处有足够的炭,并有岩浆活动,所以产生 CO 和 H₂ 以及石油烃是有足够的条件的。

3. 盖层条件

中生代以来随着断陷盆地的形成,在渤海盆地沉积了较厚的中生代碎屑岩,这就为盆地石油的形成创造了有利的储盖条件。尤其是当燕山和喜马拉雅山运动时,这些盆地正处在水盆快速沉积过程。由于燕山和喜马拉雅山造山运动产生大量热源,使地壳深处的炭与水作用产生 CO, H₂ 和岩浆活动带来的 CO, H₂ 和烃类,以及在较高温度下沉积岩中的有机质热解形成的烃类,沿断裂上升,被正在快速沉积的中生代碎屑岩所阻挡而聚集起来,在渤海盆地内就形成了很多大油田。如果没有中生代的较厚盖层,渤海盆地内的油田也是形成不了的。

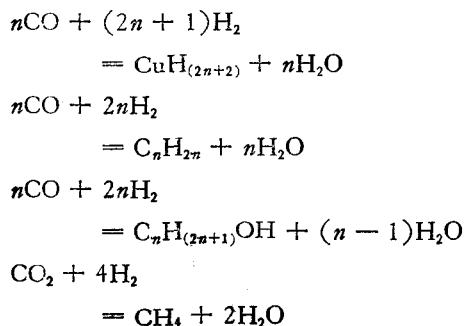
4. 渤海盆地石油的形成

如上所述,渤海盆地具备了较好的构造、油源、储盖条件,因而,首先处于高温状态环境岩石中的:



以及岩浆来源的 CO, H₂ 及烃类一起沿断裂通道上升。当时正处于幼年期的渤海盆地,处于断陷和快速沉积的过程,而沉积了较厚的还没有来得及固结的沉积物,严密地覆盖在构造盆地上,成为上述产生的气体很好的阻挡层,使这些气体高度地聚集起来,在漫长的地质历史进程中逐渐合成了石油。由于多次构造活动,可作盖层的又很多,因而渤海盆地各地质时代地层都有油气发现,而以新生代地层的盖层条件最好,因为当时新生代正处于水盆沉积环境,由于沉积物还未固结,产生的断裂很快弥合,上升的气体不致被逸散到大气中,因而在渤海盆地中生代地层中的油田多而好。

除了在较高温度下有机质热解形成一部分烃类外,石油的合成反应是:



这些反应都是放热反应,放出来的热量反过来又促使岩石中的 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ 也来参加油气的合成,或使岩石中的有机质热解产生油和气。如果还有多余的热量来不及散去,在高温高压的情况下形成较多的甲烷。处于高温形成的醇不稳定,很快脱水形成烯烃。在一般情况下 H₂ 是比较充足的,形成的烯烃也很快加氢形成烷烃。除主要合成烷烃外,也合成一部分芳烃和非烃化合物。

四、结 论

1. 渤海盆地的石油不是沉积岩中分散有机质在自然成岩过程中生成的,而是在中生代

渤海盆地产生区域性的断裂以来, 由于盆地内地幔的上升, 岩浆沿断裂侵入和喷发, 使地壳的岩石处于高温中, 岩石中红热的炭与水反应生成 CO , H_2 以及岩浆活动带出的 CO , H_2 一起沿断裂上升, 被正在沉积中的中生代沉积物或较古老的阻挡层阻挡而聚集, 最后合成石油。另一部分是岩石中的有机质在较高的温度下热解形成一部分石油, 这两部分油气就组成了现今渤海盆地的油气田。

2. 从渤海盆地油田形成石油的过程可以看出, 要形成大油田必须具有区域性的大断陷、较厚的盖层条件和足够的热源。正因为渤海盆地具备了上述条件, 而形成了胜利、大港、任丘和渤海等大油田。

3. 盖层条件在油气的合成过程中是极其重要的条件, 最好的盖层条件是当断裂和油气生成时正处于快速沉积的水盆环境, 上覆有较厚的没有固结的岩石。因未固结的岩石会使断裂变动产生的断裂很快弥合, 上升的气体不致于扩散到大气中去, 而更多地聚集起来, 这是形成大油田的必要条件。

4. 由上述石油形成的机理就不难解释, 为什么海相地层较陆相地层中发现的油气要多的原因。因为大陆边缘带都存在有较大的断裂带和盆地, 以及具有较厚的沉积层及未固结的沉积物, 热源又充足, 是生油最好的场所。相反陆相地层受构造规模限制, 热源就不那么充足, 盖层条件也差, 较难形成大油田。在火成岩和变质岩区虽然构造条件和热源条件都好, 但盖层条件极差, 因而发现的油田很少。

5. 由上述石油成因机理出发, 我国沿海地区正处于太平洋板块聚敛边缘, 中生代以来由

于太平洋板块的俯冲和挤压, 在我国沿海由北到南形成了一系列的构造盆地, 如渤海盆地, 黄海盆地, 东海盆地, 南海盆地等。这些盆地都具有良好的构造、热源、油源、盖层条件, 是成油的好场所, 是一个极其有远景的地区。且目前已在南海、东海、渤海发现有油气存在。同样我国内陆自中生代以来地台活化形成了一些内陆构造大盆地, 也具备了成油条件。总之, 凡具备了构造、热源、油源、储盖条件的地区都可能找到油气。

参 考 文 献

- [1] 李德生, 1980. 渤海湾含油气盆地的地质和构造特征. 石油学报 1(1): 6—18.
- [2] 黄第藩等, 1980. 中国中、新生代陆相沉积盆地中油气的生成. 石油学报 1(1): 31—42.
- [3] 汪本善等, 1980. 渤海湾盆地黄骅坳陷石油演化特征及人工模拟实验. 石油学报 1(1): 43—62.
- [4] 傅家谟等, 1975. 石油演化理论与实践——I. 石油演化的机理与石油演化的阶段. 地球化学 (2): 87—107.
- [5] 傅家谟等, 1977. 石油演化理论与实践——II. 石油演化的实践. 地球化学 (2): 87—102.
- [6] 西北大学地质系石油地质教研室, 1979. 石油地质学. 地质出版社, 第31—76页.
- [7] 栾作峰, 1978. 石油无机成因的初步探讨. 海洋科学 (4): 5—10.
- [8] 库德良采夫 H. A., 1965. 石油深部起源的现代资料. 石油地质学论文集. 科学出版社, 48—68页.
- [9] 阎敦实等, 1980. 渤海湾含油气盆地断块活动与古潜山油气田的形成. 石油学报 1(2): 1—10.
- [10] Albrecht, P., 1976. Geochemical studies on the organic matter from the Douala Basin (Cameroon)—I. Evolution of the extractible organic matter and the formation of petroleum. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 40: 791—799.
- [11] Tissot B. et al., 1971. Origin and evolution of hydrocarbons in early Toarcian Shales. Paris Basin France Bull. AAPG, 55(12) 2177—2193.

STUDY OF THE PETROLEUM GENESIS IN BOHAI BASIN

Luan Zuofeng

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Key Words: Bohai Basin, Petroleum genesis

Abstract

The petroleum of Bohai Basin is formed by strong activation of the platform which is similar to tectogenetic margin in structure. The activation of platform forms numerous fracture basins, which possess some deep fractural characteristics and connect the earth crust at great depth, therefore the basin has enough thermal energy there carbon and water in the sediment buried under high temperature condition would to produce carbon monoxide and hydrogen, thermal decomposition of organic matter produce hydrocarbon as well as carbon monoxide and hydrogen from magma, then these gass rise up along fracture zones within this basin. Upon being blocked by the cap of sediments, they would concentrate there under pressure and be synthesized into petroleum in the long geological years.

* Contribution No. 1606 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.