

石油无机成因的初步探讨

栾作峰

(中国科学院海洋研究所)

石油,虽早已被人们所利用,年产量约30亿吨,但其成因问题到目前为止,仍是议论纷纷。最初是以无机成因说占优势,继而又以有机成因说占主导。目前国内外仍以有机成因说占统治地位。但有机成因说却存在着难以解释的问题。本文试就这个问题进行初步的探讨,并提出石油无机成因的模式。

一、分散的有机质能形成石油吗?

目前虽然石油有机成因说在国内外占有统治地位,但仍存在一些难以解释的问题,例如,现代沉积物或古代沉积岩中,有机碳的含量一般不超过2%,而多在1%以下,粘土类岩石在1%左右,而砂质沉积物和碳酸盐沉积物均在1%以下。尤其是烃类的含量更低,一般在万分之一以下。就所谓生油岩来说,有机碳的含量也只有1%左右,而烃类的含量也不超过万分之一。从而难以想像能将这样少量的烃类从沉积物中挤压出来。特别是粘土质对烃类的吸附能力很强,再经过相当长时期的吸附作用,就更难以挤压出来。这可由B. П即达兹实验得到证明,在粘土中*加入油水之比为1:1,压力为1,000公斤/平方厘米时能挤出52—60%,油水比为1:3时,只能挤出20—24.5%。在粘土的吸附作用下,即使加压达9,000公斤/平方厘米,仍有1%的石油保存在粘土中**。在粘土中加入石油和水之后,进行实验,石油都不能完全挤出来。可以想像,在漫长地质时期作用下,粘土颗粒上吸附的极微量油质,就更难以挤压出来。

沉积物中烃类,只是在成岩阶段的初期有

少量的运移,它是整个成岩作用过程中运移速度和运移量最大的时期。随着沉积物的逐步压实,这种运移速度和量逐渐减小而趋于消失。而且初期运移量也只限于溶于水中的极少量的烃类。史密斯,维别尔等在研究中指出:在砂岩沉积物中烃类含量较粘土沉积物高(见表1),我们的工作也证实了这个论点(见表2)。虽然在砂质沉积物中有机碳和沥青的含量,一般都较粘土沉积物的含量低。一般来说由于砂质沉积物中的有机质更易于氧化,应该在砂质沉积物中保存的烃量低于粘土质沉积物。实际上,在砂质沉积物中的沥青组分中烃的含量反而高于粘土沉积物的沥青组分中烃的含量。这一事实可以说明粘土沉积物在成岩作用初期,烃类已开始运移,并且也是烃类从粘土沉积物向外运移的主要时期,以后成岩阶段的运移量则很少。这可由现代和古代沉积物中有机组分(有机碳、沥青)的总量没有明显的变化得到证实,说明在成岩作用结束后,没有大量的烃类被挤压出来形成石油。而分散在沉积物中的所谓的微石油仍然存在,只有少部分是在强大压力作用下,被挤压出来运移到邻近的砂层中。

石油有机成因说的拥护者认为,石油是由这些分散的微石油在成岩作用结束时,由生油岩中被挤出来,或以其它方式游移出来聚集成石油,那么就必然导致大面积沉积物中有机组分发生明显的变化。但事实恰恰相反,在大面积沉积物中有机组分没有发生明显的变化,就

* 在粘土中加入油分别为:14%,7%;含水:14%,21%之后,就进行实验。

** 根据万-塔依尔·斯吉捷尔斯,派克的实验资料。

表 1 鹈鹕岛现代沉积物岩芯的分析资料

海底以下深度 (英尺)	20	72	95	118	168	233	314
沉积类型	粉粘	粘	粘	粘	粘	粘	砂
有机碳 %	0.28	0.68	1.16	1.15	1.04	3.03	0.09
抽提物 %	0.0202	0.0243	0.0312	0.0294	0.0333	0.0692	0.0171
烷-环烷烃 %	9.5	11.2	10.4	12.0	10.2	19.3	63.8
芳烃 %	5.7	5.7	3.3	—	4.8	9.9	16.8
O-N-S化合物 %	15.2	16.5	16.6	18.0	17.6	28.3	5.0
Al ₂ O ₃ 上残余的 %	69.6	66.6	69.7	—	67.4	42.5	14.4
总烃 (占干重) ppm	31	41	43	—	50	203	138
海底以下深度 (英尺)	354	456	680	1,322	2,196	2,233	2,314
沉积类型	粘	粘	砂	粘	褐煤+粘	砂	粘
有机碳 %	0.51	1.06	0.51	0.93	1.01	1.47	0.22
抽提物 %	0.0400	0.0422	0.0294	0.0257	0.584	1.66	0.0169
烷-环烷烃 %	20.4	10.4	33.7	8.0	7.1	47.2	29.1
芳烃 %	5.5	4.1	11.6	4.8	5.0	23.3	9.8
O-N-S化合物 %	17.3	19.3	19.5	17.7	21.4	14.1	18.2
Al ₂ O ₃ 上残余的 %	56.8	66.2	35.2	69.5	66.5	15.4	42.9
总烃 (占干重) ppm	104	62	113	33	706	11700	76

摘自石油地质学论文集第二集 P. V. 史密斯 (石油起源的研究)

所谓生油岩中分散的微石油含量也没有明显的变化。即使在含有丰富有机质的沉积岩中，如油页岩的形成，就是含有丰富有机质的粘土沉积物，在还原条件下使其中的有机质转化为石油的组分，在成岩作用结束时，石油组分没有被挤出来，而是保存在原来的沉积物中，形成现在的油页岩。

沉积物中这些微量烃大部分都强烈的被粘土颗粒所吸附，甚至在提取这部分烃时，也必须把沉积物首先磨细，再用强的有机溶剂在索氏抽提器，或超声波中进行几小时，甚至几十个小时的抽提，也才只能抽提出其中部分的烃。因此，这些微量的烃要想单纯经过压实作用就能从沉积物中挤压出来，那是非常困难的。事实上沉积物中的微量烃也只能是由于漫长的地质时期中，在较大的压力和较高的温度作用下，处于还原的条件，也只能使部分有机质向石油烃类转化，其表现形式是正烷烃的奇偶优势由现代沉积物中的奇数碳优势逐渐消失，转

而趋近于奇偶优势接近。这可由 P·奥尔布雷克特对杜阿拉盆地的研究而得到证实，烃类没有发生运移。

从沉积物中的湿度和孔隙度的变化来看，如渤海表层沉积物（一般不超过5厘米）的湿度较大，一般在50%以上，而在5厘米以下湿度显著减小，1米左右的沉积物已很紧密，其湿度都在50%以下。这一规律也被很多工作者所证实，在现代海洋沉积物中上部含水量高，而向下在很短的距离内，由于重力压实作用使自由水的损失很快，因而湿度减小。根据斯特拉霍夫的资料，在250米左右沉积物基本上已压实固结。而古索夫（1955）认为500米深度时，石油的原生运移才开始。而实际上在这个深度的沉积物已基本固结，此时要使微石油从已固结沉积物中挤压出来是不可能的。

赫德伯格（1966）研究了泥岩的孔隙度与深度间的关系划分为四个带：

1. 0—0.1米：游离水被排除，矿物组分

的机械调整,使孔隙度由90%降到75%。

2. 0.1—200—300米:水的含量显著降低,促使粘土矿物彼此直接接触,只残留很少量的游离水,孔隙度由75%降至35%。

3. 300—2,000米:流体因孔隙度的减少而进一步被挤出,孔隙度由35%降至10%。

4. 2,000米以下:岩石内部发生重结晶作用,孔隙度由10%慢慢下降,仅保存吸附水。

从以上湿度和孔隙度资料可以看出,变化最大的主要是在沉积物最上部的几厘米处,而向下变化愈来愈小。这就很难设想微石油会从固结很紧密,而湿度和孔隙度又小的沉积物中游移出来。

在1963年第六届世界石油会议上阿贝尔逊提出石油是由干酪根形成说,通过实验,干酪根在190—400°C间可以生成小部分烃类。随后其他人又做了同样的实验。傅家模,史继阳在石油演化理论与实践一文中,亦赞成石油是由干酪根形成的。史在文章中指出:成油过程始于早期成岩作用阶段的后期。所谓早期成岩作用阶段后期,系指沉积物埋藏深度在500米以下。而粘土脱去孔隙水和过量层间水,是在成岩作用阶段的初期。在500米左右深度时粘土已基本压实和固结,其中含的水分很少,尤其是碳酸盐的固结作用更早,在这种条件下想把由干酪根形成的烃类从沉积物中运移出来是非常困难的,也可以说是不可能的。诚然,在沉积物中的有机质是随着埋藏深度的增加而温度增高,以及经过漫长的地质年代的变化,促使有机质中很少部分的组分向石油烃转化,但仍保存在原岩中。古代沉积岩中烃类的含量稍高于现代沉积物中烃类的含量,这是由于有机质长期转化的结果。干酪根石油起源论者所做的实验指出:H/C与O/C比值趋向减小,向成煤阶段过渡。因此,干酪根在温度和压力作用下转化为石油时,首先形成油页岩,这时的粘土沉积物基本上已被压实,所形成的微石油直接被粘土颗粒所吸附,只有达到过饱和的情况下才能开始向外运移。实际上由干酪根转化的烃类很少,只有几百个ppm,很少超过1,000

ppm,如此少量的微石油是不能使粘土岩达到过饱和的。因此,微石油只能被粘土颗粒牢牢的吸附着,而不能运移出来聚集成石油。

世界上有名的一些高产大油田,如萨里尔油田储量大,产量高,储油层为上白垩系底部的萨里尔砂岩,生油层主要是古新统(厚488—580米)下部的暗灰色到黑色的海相页岩,和上白垩统(厚223—301米)黑灰色和黑色的海相页岩。在油投产前井口关井压力为68.2—70.3公斤/厘米²;美国的俄克拉何马城油田,石油聚集在不整合面以下构造核部的阿尔布克白云岩和构造翼部的奥陶系上部的一系列砂岩中;宾西法尼亚的砂岩和灰岩也产油和天然气,其生油层为宾西法尼亚统及其底部的海相奇罗基页岩,其中奥陶系阿尔布克白云岩有一口井试油日产量达6,836米³/日;利比亚的奥吉拉油田在前寒武系的裂隙性花岗岩中也获得高产井。有一口井在180米花岗岩井段内试油,用3/4英寸油嘴,在流动压力为42.2公斤/厘米²时产油达1,908米³/日,白垩系海相页岩为其生油岩。再如美国得克萨斯里敦泉油田,查甫曼油田,委内瑞拉的陀豆摩油田其储油层均为火成岩。变质岩中亦有油田存在,如美国洛杉矶油区的普拉雅,得尔,勒伊油田等。综上所述各油田是怎样从上覆盖层把巨大的油气运移到下部储油层中去的呢?这是很难设想的,因为下部的压力是那样的大,无法把油气运移到底部,最多也只能是少量的渗滤。实际上这些油田的形成,仍是由地壳深处的气体沿着断裂向上运移,当遇到上覆盖层后使气体逐渐在储集层中富集,合成石油,形成大油田。

因此得出结论,不论是分散的微石油或干酪根都不能聚集成石油,只能形成微量的分散的烃类,大部分保存在原岩中,只有极少部分在成岩过程中的初期同水一起游移出来。而在成岩阶段的晚期已基本上结束运移,大部分有机质转化成煤。

二、石油的形成与构造的关系

石油的形成,必须有适宜的构造,储盖岩

和油气合成气体的来源，唯有三者结合起来才能形成较大的油田。而大陆边缘正是具备这三种条件的区域。按板块构造假说，现今大西洋周围以离散型边缘为主，太平洋周围以聚敛型边缘为主，而印度洋则出现了边缘类型的复合分布。地壳离散与地壳聚敛的相对效应合理地解释了大西洋边缘与太平洋边缘之间的显著差别。

在这两种类型的大陆边缘带上都具有深的断裂和盆地存在，断裂是油气深部来源的通道，巨厚的沉积盆地为油气的合成和储集提供了场所。这就是海相地层油田远远比陆相地层油田多的主要原因，但陆相地层只要具备了这三个条件也会形成大油田，如我国的大庆，大港，胜利油田等。

从目前世界上主要大油田的分布情况来看，是符合上述情况的。克内列尔（1956），穆迪和艾米里奇（1972），乌斯宾斯卡亚等对世界大油田的统计表明，大的油田多集中在盆地比较稳定的一翼，即大陆架，其可采储量大于活动翼的4倍。如伊朗的基尔库克油田，马龙油田，阿加贾里油田，科威特的布尔干油田，沙特阿拉伯的加瓦尔油田，阿布奎克油田，委内瑞拉的波利瓦尔油田等均位于稳定翼。

我国沿海位于太平洋边缘，属太平洋聚敛型边缘，形成了拗陷盆地和深部断裂，并具有巨厚的沉积物，这对形成油气极为有利。如东海大陆架台湾盆地的石油，黄海大陆架，渤海大陆架，均具有良好的储盖构造条件，并发现有油气。凡是在地壳深处有合成油的 C 、 H_2 的来源，和上覆的储盖层结合，在这种构造带内岩浆活动轻微，或无岩浆上升到洋底，上覆巨厚沉积物以及褶皱轻微有利于油气的合成和保存，就是有远景的油区。

正因为大多数石油都形成在大陆边缘带中，因此，这些油田都受基底断裂的控制，如布尔干，萨法尼亚-哈夫奇，加瓦尔和阿布奎克等大油田位于阿拉伯地面上的一组北东向断裂同幼发拉底河-波斯湾北西向区域断裂带的

交叉带上。

世界上大多数高产油田90%以上都集中在中生代和新生代的第三纪、而产于其他时代的油田较少。所以在海相地层中出现较多和较大的油田，就是因为它处于海陆交互带的有利的构造活动带上，这对合成石油的原料 C 、 H_2 能从构造带上升进入储盖层中造成很好的通道。板块构造活动的时间恰与石油形成的时间相吻合，说明形成油田构造通道的重要意义。

三、石油的形成

石油的形成也同其他矿产一样，具有一定的规律性。在矿产的形成上它是受时代，岩性，构造等因素的控制，如某些内生金属矿产都与岩浆活动有关。也要与相应的构造体系相符合。又如与晶岩有关的矿产多与较古老的岩浆活动有关，而有些金属矿床多与中生代的岩浆活动有关，而煤主要是在古生代后期开始形成的。而石油也具有这种规律性，主要形成在中生代和新生代的地层中，并具有一定的构造断裂密切配合，即同板块构造活动密切相关，从而说明矿产的形成同地球活动有密切关系。

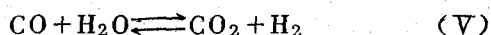
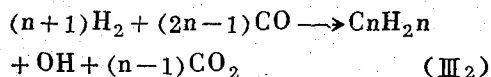
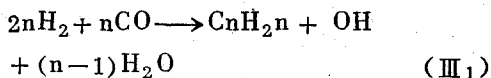
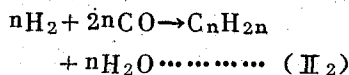
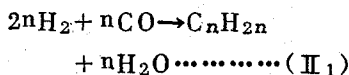
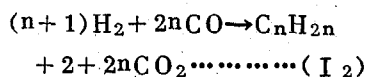
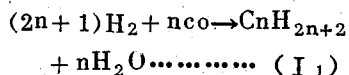
大油田的形成必须具备有良好的储盖条件，丰富的油源和输油通道。即使有丰富的油源，而没有很好的储盖条件和通道也形成不了油矿床。下面重点谈谈油源问题。

据上所述，有机成因说是不能解释石油的运移等问题。因此，我们认为石油是无机合成的，它的油源主要来自地壳深处含有 H_2 、 C_0 、 CO_2 等成分的气体，沿断裂带向上运移，当遇到盖层阻挡时，停止向上运移，在储集层中浓集，充满在岩石的裂隙和孔隙之中，特别是砂岩和灰岩是良好的储集层。当气体充填到岩石的孔隙和裂隙中后，其温度显著下降，压力仍然很大，约在 $300^{\circ}C$ 左右，这些气体与岩石中的微石油在催化剂的作用下合成石油，这就是石油无机生成的模式。石油合成的条件是温度约为 $300^{\circ}C$ ，压力要在100大气压以上。石油合

表 2 黄海现代沉积物的资料

沉积物 类型	深度 (cm)	有机碳 %	沥青 %	烷-环 烷烃 %	芳烃 %	非烃 %
粘土软泥	0—20	0.94	0.2241	12.7	2.3	85
粘土软泥	60—100	0.97	0.0895	7.2	4.6	89.2
粘土软泥	140—180	0.97	0.1559	12.9	2.8	84.3
细粉砂	0—30	0.49	0.0819	33.1	7.0	59.9
细粉砂	30—60	0.28	0.0385	45.1	4.7	50.2
细粉砂	90—120	0.61	0.0641	39.2	8.1	52.7

成反应式基本上有以下几种:



按反应式:

(I) 式: 当温度在200—300°C合成时, 则含有3—20个碳原子的饱和烃。

(II) 式: 当压力大, H₂充分的条件下可加氢形成烷烃。

(III) 式: 在高温高压下脱水形成烯, 如氢气充足, 再加氢可形成烷烃。

(IV) 式: 只有在氢气充足的情况下才能完成。

(V) 式: 可以调节CO和H₂含量的关系, 促使有利于合成石油烃。

上述反应式皆为放热反应, 如在反应过程中热量来不及散去, 则在高温高压情况下要形成较多的CH₄。所以某些油气田中, 特别是在

深层含有较高的CH₄就是这种原因形成的。在一般情况下, 石油合成过程中所形成的醇, 如果在高温高压的条件下不能保存, 而要脱水形成烯烃。在H₂充足的条件下烯烃又要转化为烷烃。

除上述反应产物外, 还产生部分的芳烃和非烃等化合物, 这些产物的含量多少, 则取决于贮油岩的成分, 催化剂, 岩浆气体的成分以及当时的环境。

合成石油的H₂和C, 主要来源于地壳深处的气体, 其次是来源于当板块活动时上覆岩层落入软流层中所产生的H₂和CO气体。B. A. 索柯洛夫指出: 构成硅酸盐固体外壳的火成岩含有CO₂, CO, H₂, CH₄和游离碳, 随着深度的增加, 这些成分的比例是在变化的, 也就是CO和C的含量增高。再加深时, 碳主要以元素碳的形式溶解在岩浆中。而H₂也可以由放射性元素的α射线照射水产生, 也可以有其他方式形成的H₂和CO。

火成岩受热后所析出的气体除水以外, 主要是H₂, CO₂, CO, CH₄, N等组分。火山气的碳大部分是以CO₂的形式存在, 其含量约占65%, CH₄只占2%。在乌拉尔超基性能干榄岩地块上和澳大利亚前寒武纪的纽克半岛上的许多钻井(约260米深)析出的气体主要是纯氢, 夹杂有甲烷和氮(引自克鲁包特金地壳内碳氢化合物的形成)。

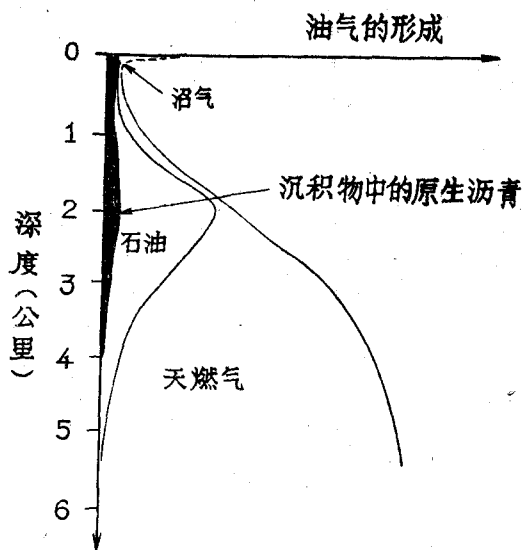
世界上广泛存在的泥火山, 其成因就是当岩浆气贯入到沉积岩层后, 造成高温高压, 所以该阶段主要形成甲烷, 又由于热量散不出去, 最后达到爆发点而形成泥火山。

世界大油田多产在中生代和新生代的地质中, 而较古老的地质中则少见, 这一客观事实, 按有机成因说是难以解释的。但按无机成因说的论点就可以解释, 这与整个地球的演变密切相关, 也就是与板块活动密切相关。因为在中生代的末期到新生代时期地壳运动较为频繁, 活动着的岩浆组分中含有大量的H₂, CO, CO₂等气体, 尤其是在阿尔卑斯—喜马拉雅构造期的岩浆中更富含H₂, CO₂气体。因而新

中生代第三纪时期在世界性范围内，广泛的形成了第三纪大油田。应该强调的是沉积岩中已形成的微石油，就象培养晶体时的雏晶一样，油气围绕着这些分散的微石油聚集而形成石油。

四、油气藏形成的深度

根据目前油气田开采的情况，可概略估计油气藏形成的深度，一般是在1,000—3,500米深度对油田的形成有利。而在3,500米以下的温度高、压力大不易形成高碳烃，所以不利于形成石油，而利于天然气的合成。而在1,000米以上，由于构造破坏，断层裂隙发育，很难找到有利的储盖条件。因此，不利于油气藏的形成。油气埋藏深度的关系可见示意图：



石油形成深度示意图



太平洋

面积约165,246,000平方公里，容积707,555,000立方公里，平均深度4,282米(如包括太平洋所属的各海在内，则太平洋的面积为179,679,000平方公里，容积为723,699,000立方公里，平均深度为4,028米)。最大深度11,034米。3,000—4,000米深度占它总面积的80.3%。

印度洋

面积有73,443,000平方公里，容积291,030,000立方公里，平均深度3,963米(如将所属各海合并计算，则印度洋面积为74,917,000平方公里，容积为291,945,000立方公里，平均深度为3,897米)，最大深度为7,450米。

大西洋

它的面积有82,442,000平方公里，容积为323,613,000立方公里，平均深度3,925米(包括所属各海在内，则大西洋的面积为93,363,000平方公里，容积为337,699,000立方公里，平均深度3,627米)，最大深度9,219米，3,000—6,000米的深度占72.1%。

北冰洋

北冰洋中央部份面积为5,035,000平方公里，容积10,970,000立方公里，平均深度2,179米(如包括所属各海，则北冰洋的面积为13,100,000平方公里，容积为16,980,000立方公里，平均深度为1,296米)，最大深度5,449米。

(范时清)