

用幔源油气理论透视石油地质学和石油工业

■ 崔永强

2021年8月9日《中国改革报》发表了题为《幔源油气理论和技术支撑大庆油田重上5000万吨》的整版报道,引起社会广泛关注,有100多家媒体先后给予转载。本文将向读者深入阐述幔源油气理论最新进展及其应用。

幔源油气理论认为,国家石油进口突破安全红线,不是因为中国石油工业开采技术和开采能力的欠缺,而是因为主导石油理论出现方向性偏差。石油有机成因理论指出,石油是化石能源,来自动植物碎屑沉积、埋藏和热演化,石油即将枯竭。而幔源油气理论则指出,石油来自100公里深处的地幔,取之不尽,用之不竭。两个理论为石油工业指出截然不同的前途和命运。因此,我们必须高度重视石油理论之争,这是一场石油工业的前途和命运之争。

任何理论的科学性,都是可以证实或证伪的。石油理论也不例外。石油有机成因理论最重要的三条立论依据是:一、石油具有生命分子特有的旋光性;二、石油具有生物所特有的分子,即生物标记物;三、99%的石油发现于沉积盆地。上述依据均已经获得重新解释:

第1条,有机分子的旋光性,起源于有机分子的螺旋结构。所有具螺旋结构的分子,甚至具有螺旋结构的铜丝都具有旋光性。石油有机成因理论认为,只有生物分子才有旋光性,这显然是错误的。因为陨石中发现的有机质,同样具有旋光性。从而证明生命物质或生命过程对有机分子的光学活性并没有决定性作用。

第2条,所谓生物标记物,并非生物所特有。譬如,姥鲛烷、植烷,这些有机成因理论所指的生物标记分子,不但在陨石中能够找到,在地幔岩捕掳体中也能找到。生物体和石油中都有卟啉化合物,但叶绿素中螯合的金属是镁,血红素中螯合的金属是铁,而石油中的卟啉分子螯合的金属是钒和镍。

第3条,99%的石油发现于沉积盆地,是因为所有含油气盆地均对应大规模上地幔软流层隆起,且含油气丰度与上地幔软流层隆起幅度成正比。在大规模上地幔隆起的顶部富集地幔烃碱流体(HACONS)。这些地幔烃碱流体,将顺着上覆刚性上地幔张性断裂进入地壳和沉积层,进入我们已开采的油气藏。地幔烃碱流体中的烃,就是油气。

在有机成因理论指导下,世界探井成功率只有10%左右。而按照小断距基底走滑断层控制油气藏的认识来布井,2007年俄罗斯中央地球物理研究院在西伯利亚盆地叶特-普罗夫油田获得探井成功率100%,最高单井日产量达700吨;2020年新疆富满油田在塔里木盆地塔北隆起

南坡-北部拗陷阿满过渡带的走滑断裂带上获得探井成功率95%,最高单井日产量达1000吨。相比之下,有机成因理论指导下的石油勘探,不过是试错行为。

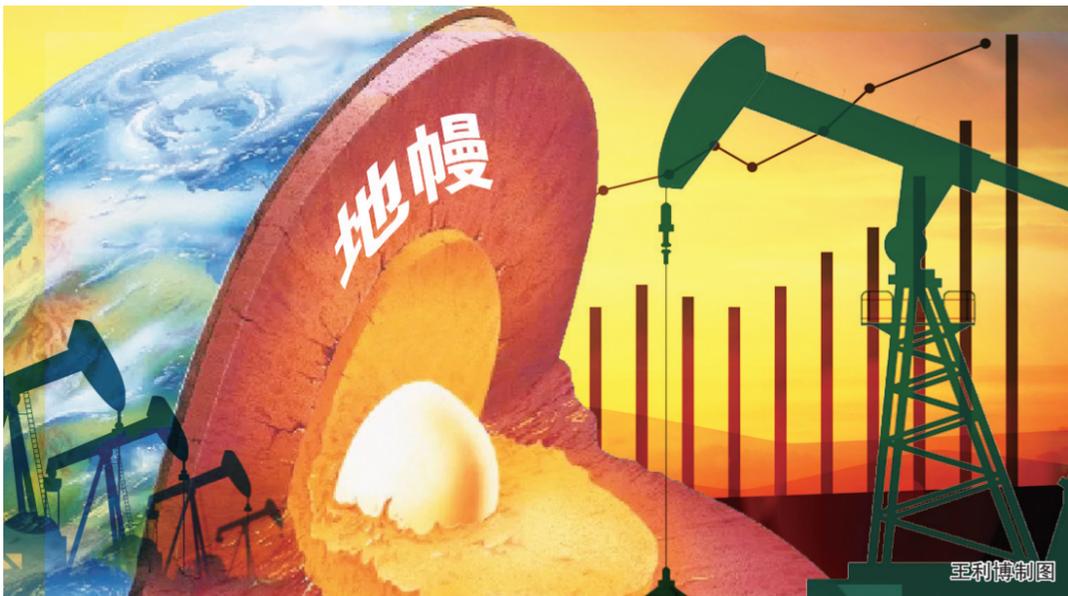
基底走滑断层控制油气藏,是石油来自地幔的证据之一。实践上,走滑断层控制油气藏的认识已经得到普遍认可。而沉积层走滑断层受控于沉积层之下的小断距基底走滑断层,则往往被忽视。受三维地震分辨率的限制,人们在三维地震剖面上,往往看不到基底发生的变化,并且常常认为盆地在各个地质时期发生的断裂构造是相互独立的。而实际上,沉积盆地从基底到沉积层顶部,其断裂体系都是盆地统一应力场控制的结果。新构造运动对油气藏形成和保存具有决定意义。

石油来自地幔的直接证据,是我们在松辽盆地周边的火山玄武岩中,发现大量的地幔岩捕掳体,即玄武岩包裹着的地幔橄榄岩。从这些地幔橄榄岩中,我们抽提出C₁₃-C₂₈石油烃类。其色质谱图与油气藏中石油的色质谱图完全一致。

石油来自地幔的化学热力学证据,来自烃类的化学热力学计算及高压合成实验。化学热力学计算表明,乙烷以上的烃类,只有在超过3万大气压的环境才能形成,对应深度在100公里以下。烃类高压合成实验,所用原料是地球上最普通的大理石、氧化亚铁和蒸馏水。高压腔内,超过1万个大气压时,开始出现甲烷。超过3万个大气压时,烃类分子开始演化。超过5万个大气压同时温度达到1500℃时,系统自发地产生具有天然石油分布特征的甲烷、乙烷、正丙烷、2-甲基丙烷、2,2-二甲基丙烷、正丁烷、2-甲基丁烷、正戊烷、2-甲基戊烷、正己烷、2-甲基己烷,直到正癸烷、乙烯、正丙烯、正丁烯、正戊烯。

幔源油气理论植根于烃碱流体地球化学理论,并融入了化学热力学计算和高压生烃实验、地幔岩捕掳体烃类抽提实验、小断距基底走滑断层控制油气藏的工业实践及大陆层控构造理论、地球非对称膨胀理论等最新研究成果。它不但指出石油来自地幔,还清楚地回答了石油为什么来自地幔、石油为什么主要分布在沉积盆地、石油为什么分布在沉积层花状断层附近、石油为什么取之不尽用之不竭?

地幔烃碱流体的根源在于地核。研究表明,地核的最小年龄不足10亿年,远小于45亿年的地球年龄,这是令人费解的。而在地球非对称膨胀理论看来,则是自然而然的。今天看到的太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋,是最近2亿年以来诞生的,它们占地球71%的表面积,就是因为地球减密膨胀而新生的表面积。地球减密膨胀发生在岩石圈之下的所有层圈,这说明地球的化学演化仍在进行之中。



地球非对称膨胀理论吸收了板块构造理论中大洋中脊扩张的认识,否定了洋壳俯冲的认识。由此,在我们面前展现出一个新的地球观:这个地球是不断膨胀、不断演化的。在地球演化过程中地幔烃碱流体源源不断地产生。大洋水来自地球内部,它们是地幔烃碱流体的组成部分,说明地球深部释放烃类的规模极其庞大。现今的大洋中脊附近,仍然有“黑烟囱”在源源不断地喷射地幔流体,其中烃类的最小年龄不足5000年。

既然地球深部在源源不断地释放烃类,地质历史时期陆地上的石油烃类都到哪里去了呢?研究表明,这些石油烃类已经演化为煤和石墨。煤田地质学教材承认,煤的形成经历石油和软沥青这一阶段。煤成因的特殊性在于,煤层底板可以是任何岩性,任何时代,与煤层没有成因联系。地质上从来没有发现煤异地搬运的痕迹。煤层非常纯净,没有任何搬运过程可以实现这样的分选效果。尤其是薄煤层的分布面积可达几万里平方公里,这要求成煤物质只能是流体,而人们在自然界中却没有发现这样的流体。

大庆油田青山口组和嫩江组泥岩中发育上百条煤线,即薄煤层。这些薄煤层就是在盆地沉降的过程中,地幔烃碱流体由控陷断裂上涌至盆地表面的水体之中,其中石油烃类漂浮在水体表面,经过氧化转变为沥青层,继续接受沉积、埋藏,最终演化为薄煤层。石油来自盆地深部,作为成煤物质,既符合成煤物质本地来源说,又符合成煤物质异地来源说。同时符合成煤物质是流体和纯净物的要求。

甲烷冰,又称天然气水合物,本质上仍然是幔源油气。甲烷几乎可以生成于地球的各种环境,但乙烷以上烃类只能生成于超过3万大气压的地幔。天然气水合物分布于海底、冻土带这类高压低温的特殊环境,严格受控于断层。甲烷冰的形成机制是气体通过多孔介质因压强减小而温度降低至冰点的焦耳-汤姆效应,是形成于渗透层内部的

封盖层,对深部天然气向大气释放起封盖作用。建议慎重开采天然气水合物。

页岩气,原国土资源部命名为172号新矿种,本质上同样是幔源油气、常规油气。页岩气并不在页岩层之中,而是在页岩层之下的深部储层。大规模水力压裂的目的,就是制造人工裂缝与天然裂缝沟通,进而沟通深部储层。页岩气开发显示“L型”开采曲线,是因为大规模水力压裂造成的人工裂缝,经过几个月或更短的时间,将重新关闭,从而造成产量急剧下降。所以,开采页岩气,必须不断重复进行大规模水力压裂。

为什么大家在清楚地知道:页岩气开发成本大于价格,造成严重的地表和地下水污染、大气污染,诱发5.6级以上破坏性地震,知道西方各国普遍进行全国性或地区性立法禁止页岩气开发,中国页岩气开发还要继续推广呢?原因在于,大家并不知道页岩不生气、不储气。我们应用大规模水力压裂技术开采页岩气,实际上是走了弯路。因为我们可以用直井、斜井这些更经济更环保的办法,直接开采深部储层的天然气。所谓深部储层与页岩层的埋深也不过相差几百米至几千米而已。开发成本却可以得到十倍百倍地节约,一口井投资从几千万甚至上亿元,下降到几百万元。

石油有机成因理论认为石油来自生油层,生油层生出的石油,将大规模储存在可渗透的储层之中。石油开发的任务就是采用各种技术手段开采这些静态存储的油气,一次采油是弹性开采,二次采油是水驱,三次采油是化学驱等。因此,国家大力推广化学驱技术,试图更多地开采出储层中的剩余油气。

而事实上,石油并非静态地、大面积地存储于渗透性储层,而是存储在供油断裂附近2公里以内,工业油气井分布在供油断裂附近1.5公里以内。供油断裂附近的油气,不是静态的,而是不断从供油断裂获得补充。所以,试图以注入化学剂的

方式在储层内大面积清洗剩余油的想法与地质事实不符。

美国于1964年进行了第一次化学驱矿场试验,从上世纪70年代到1985年共进行了183个化学驱项目。80—90年代中期美国化学驱技术有一个快速发展阶段,进入21世纪,化学驱项目几乎停止。自上世纪60年代,全世界有200多个油田或区块进行了化学驱试验。到80年代,化学驱经过这些老牌石油国长达20多年的论证,现场证明使用效果并不理想。于是,大多数国家放弃了化学驱项目。

从大庆油田总产量和化学驱产量数据中,我们可以发现:化学驱产量增加这么多,而实际总产量不增反降。从1996年到2013年,大庆油田化学驱产量从214.99万吨增加到1400万吨以上,而油田的总产量却从5600万吨降低到4000万吨,化学驱增油趋势和总产量下降趋势恰好形成了剪刀差。由此可见,正确的石油地质认识,才是石油工业发展的决定性因素。

2022年8月12日,金之钧院士率北京大学能源学院科研团队到大庆油田交流,笔者有幸受邀向北京和大庆油田专家做了题为《现代石油地质学——幔源油气理论》的演讲。演讲的开场白是:“我曾经是北京大学的一员。北大是出思想的地方。李四光教授1920年就任北大地质系主任,他提出地质力学。潘钟祥教授1950年就任北大地质系主任,他提出陆相生油理论。何国琦教授1983年就任北大地质学系主任,他的学生提出幔源油气理论。”

中国石油地质学已经徘徊了半个多世纪。时代需要北大思想者,时代呼唤颠覆性基础理论。提出幔源油气理论,只是万里长征的第一步。克服一切困难,在实践中应用和推广这一理论,才是一场真正的二万五千里长征。我们坚信在国家和企业各项人才政策、创新政策的扶持下,幔源油气理论一定能够得到发扬光大。祝愿国家石油安全早日得到保障!

(作者系大庆油田勘探开发研究院博士、高级工程师)