

轻烃地球化学场的形成和特征

李广之

(中国新星石油公司化探中心, 安徽合肥 230022)

轻烃地球化学场是油气藏地球化学场的一种表现形式, 由场源和场作用构成。场源是轻烃进行运移的物质基础, 场作用则是轻烃与环境介质的各种反应, 主要受地层水溶解度和围岩性质的影响。轻烃在运移过程中具有动态平衡和分异效应的特点, 其运移方向取决于运移通道和运移阻力的对比。因此, 在进行地球化学勘探时, 不仅要考虑场源的性质, 而且更应注意轻烃的赋存状态、组成及含量, 在时空上进行综合分析。

关键词 轻烃 地球化学场 场源 场力 场作用

作者简介 李广之 男 28岁 助理工程师 应用化学

1 形成

地球化学场是指由于地球化学作用造成的具有某种地球化学性质的区域空间^[1], 它的构成必须具备3个条件: 场源、场力和场作用。场源是指形成地球化学场的物质和能量源, 场源不同, 场的性质不同; 场力是指因场源中的物质和能量与周围环境中的物质和能量不平衡而产生的力; 场作用是指在场力作用下, 场源的物质和能量与环境的交换作用。

油气藏地球化学场是指以油气藏为场源, 通过油气藏中的物质和能量与环境相互作用后形成的地球化学场。油气藏中的轻烃在所对应的地质环境下, 物质和能量都处于不平衡状态, 必然要沿着一定的通道向环境中运移并和环境进行物质和能量交换, 因而就造成了油气藏周围(特别是油气藏上方)存在着有别于正常空间的、具有一定特征和规律性的轻烃分布—轻烃地球化学场。轻烃地球化学场是油气藏地球化学场的一种主要表现形式, 其性质和特征很大程度上与原生油气藏地球化学场相似。

1.1 场源

石油或天然气经初次、二次运移聚集成藏后, 其中的轻烃源在所对应的地质环境中处于一种物质和能量不平衡的状态, 必然要进行第三次运移并

且和环境进行物质和能量的交换作用, 从而使自身系统的物质和能量趋于平衡状态。

油气藏中的轻烃存在着由深至浅垂向运移的趋势。这是因为埋深较大的油气藏受热膨胀, 各组分的分子内能较高, 存在着向温度低的地层运移使油气藏系统的体积减小, 内能降低的趋势。场源中的轻烃尽管具有进行垂向运移的趋势, 但还得有一定的通道, 作为运移的途径。垂向运移只是一种趋势, 绝对意义上的垂向运移必须有垂直向上连通的通道。事实上, 这样的条件并非都能满足。轻烃的运移必然是沿着阻力最小的通道进行, 当侧向运移的阻力小于垂向运移的阻力时, 轻烃则先以侧向运移为主, 直至找到垂向上阻力比侧向上阻力小的通道后再进行垂向运移, 从而构成了一个特定的场系统。

1.2 场作用

1.2.1 地层水的溶解作用

轻烃在水中的溶解度随着组分碳数增加而减小, 随压力的增加而增大。温度对轻烃的溶解度影响较复杂, 当温度低于80℃时, 溶解度随温度的上升而减小; 当温度高于80℃时, 溶解度随温度的上升而增大。同时, 轻烃的溶解度随水的矿化度增加而减小。而当水中溶解有CO₂气体时, 对轻烃具有一定的增溶作用。基于上述的溶解特性, 轻烃可以呈水溶液形式进行运移(从高势区向低势能区运移), 其限度为在所对应地层条件下水溶液被轻烃所饱和^[2]。因轻烃各组分在水中的溶解度不同, 所以在一定程度上造成了空间结构上轻烃分布的组

分分异效应。

1.2.2 围岩孔隙表面的吸附作用

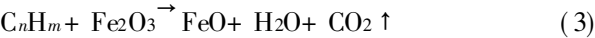
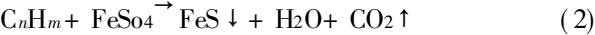
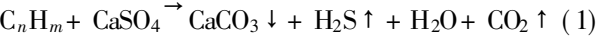
按吸附质与吸附剂之间作用力的性质不同, 可以把吸附分为物理吸附和化学吸附。吸附过程是放热过程, 且是不均匀吸附的过程^[3]。吸附态轻烃分为物理吸附轻烃和化学吸附轻烃。物理吸附轻烃是以分子状态被固体表面所吸附; 可以是单分子层的, 也可以是多分子层的, 吸附作用力为范德华引力。吸附热(吸附质被吸附过程中所放出的热) 数值很小, 吸附的速率和解吸的速率都很大, 吸附过程受温度影响较小, 且基本不需要活化能^[3]。化学吸附轻烃是以原子状态被固体表面所吸附; 吸附质与吸附剂之间有化学键的生成, 吸附只能是单分子层的, 且具有选择性。吸附热数值很大, 和化学反应热差不多是同一数量级, 吸附过程和解吸过程都需要活化能, 受温度影响较大^[3]。物理吸附轻烃和化学吸附轻烃可随着温度的变化而相互转变。低温时, 主要以物理吸附轻烃为主; 当温度升高到所提供的能量达到化学吸附活化能时, 则物理吸附开始有部分经过中间过渡态而转变为化学吸附轻烃; 当温度进一步升高, 所提供的能量达到化学吸附的解吸活化能时, 则开始有部分化学吸附轻烃经过中间过渡态而解吸为物理吸附轻烃。

围岩孔隙表面对轻烃的吸附是物理吸附和化学吸附同时发生的过程, 而且吸附的过程是一个不均匀吸附的过程。在刚开始进行吸附时, 轻烃首先吸附在表面活性最高的部分, 其吸附力最大, 吸附热也最大; 随着活性表面逐渐被覆盖, 轻烃与表面之间的吸附愈来愈弱, 所需的活化能愈来愈高, 吸附热愈来愈小^[3]。

围岩孔隙表面的化学组成不同, 表面的活性就不同, 对轻烃的吸附能力就不同。对于同一化学组成的表面来说, 分子量越大的轻烃组分就越容易被吸附。因为分子量大, 沸点就高, 其饱和蒸气压就小, 也就越不易挥发, 易于被吸附。由此可见, 吸附作用必然导致轻烃在运移的过程中发生成分分异效应。

1.2.3 轻烃与环境介质间的氧化还原反应

轻烃组分都具有一定的还原性, 在其进行垂向运移的过程中, 如果围岩中含有膏岩和其它氧化性矿物, 则在微生物作用下, 可与之发生如下氧化反应

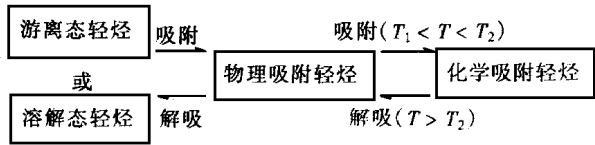


轻烃和环境介质反应生成的 H₂S 和 CO₂ 可以和围岩中或地层水中的某些离子发生反应, 导致围岩和地层水中的元素和离子再分配, 从而使环境介质的某些物理化学参数发生变化, 诸如 pH 值的升高、氧化还原电位的降低、放射性的增强及红色岩石的褪色, 等等。

2 特征

2.1 轻烃间的动态平衡关系

轻烃场源在和环境进行物质和能量的交换过程中, 各种赋存状态的轻烃之间构成了一个动态的物理化学平衡, 在压力或浓度一定的条件下, 平衡可表示为



在低温时, 主要存在着左半部分的平衡, 而且随着温度的升高平衡向左方(解吸方向) 移动; 当温度升高到化学吸附的临界温度 T₁ 时, 则开始有部分物理吸附轻烃转变为化学吸附轻烃, 整个平衡向右方(吸附方向) 移动; 当温度升高到化学吸附的临界解吸温度 T₂ 时, 则开始有部分化学吸附转变为物理吸附轻烃, 整个平衡又向左方移动。温度对平衡的影响主要在右半部分, 左半部分较小; 压力或浓度对平衡的影响主要在左半部分, 对右半部分影响很小。同时, 从平衡式可以看出, 物理吸附轻烃的存在, 必然同时存在着游离轻烃或溶解轻烃。当物理吸附轻烃大量存在时, 也必然存在着大量的游离轻烃或溶解轻烃, 也就构成充足的轻烃供给源(即轻烃场源), 因此, 场源的性质和特征就可由物理吸附轻烃和游离轻烃或溶解轻烃的组分组成和含量特征加以反映。化学吸附轻烃和物理吸附轻烃之间的转变伴随着较大的能量变化。尽管化学吸附轻烃须经过物理吸附阶段, 但二者之间的对应关系并不完全吻合, 组成上的对应关系较强, 含量上的关系较为复杂: 物理吸附轻烃含量小, 则化学吸附轻烃含量也小; 物理吸附含量大时, 化学吸附轻烃的含量并不一定大, 这取决于环境提供的活化能大小。因此, 物理吸附轻烃的含量可直接反映油气藏的性质, 而化学吸附轻烃的含量则并非如此。

2.2 垂向运移过程中的分异效应

轻烃在向上运移过程中, 存在物理吸附、化学吸附、溶解及扩散分异效应。物理吸附分异效应是由于沉积岩对各轻烃组分的物理吸附能力差异而产生的。分子量越小的轻烃, 沸点越低, 饱和蒸气压越高, 就不易被沉积岩物理吸附; 分子量越大, 沸点越高, 饱和蒸气压越小, 越易液化, 也就越易被沉积岩物理吸附。因此物理吸附分异效应的结果是使分子量较大的轻烃积累在沉积岩中, 而分子量较小的轻烃则易透过沉积岩向上运移。化学吸附分异效应是由于沉积岩对各轻烃组分的化学吸附能力差异引起的。分子量越小的轻烃, 发生化学吸附的活化能越小; 分子量越大, 原子数越多, 发生化学吸附的活化能就越高。因此, 小分子轻烃容易被沉积岩化学吸附, 而大分子轻烃不易被沉积岩化学吸附。化学吸附分异效应的结果是使沉积岩中积累分子量较小的轻烃。溶解分异效应是由于各轻烃组分在沉积岩的液态系统中的溶解度差异所引起的。分子量越小的轻烃在液态的大分子有机质中的溶解度越小, 越易摆脱溶剂的引力而向上运移, 而在水中的溶解度越大, 越易被水所聚集; 分子量越大的轻烃在液态的大分子有机质中的溶解度越大, 越不易摆脱溶解的引力向上运移, 而在水中的溶解度越小, 越不易被水所聚集。溶解分异效应的结果是使分子量较大的轻烃被束缚在大分子有机溶剂中, 而小分子量轻烃容易摆脱大分子溶剂的引力呈独立气相形式向上运移或溶解在水中呈溶解态随水进行运移。扩散分异效应是由于各轻烃组分的扩散系数差异造成的。分子半径越小的轻烃扩散系数越大, 扩散能力越强, 越易透过沉积岩微裂隙系统向上运移。分子半径越大, 扩散系数越小, 扩散能力越弱, 越不易透过微裂缝系统向上运移。扩散分异效应的结果是使分子半径较大的轻烃聚集在沉积岩中, 而分子半径较小的轻烃容易向上运移。

3 表现形式

地层中轻烃的赋存状态主要有4种形式: 游离态(以连续气相形式存在)、溶解态(以溶解于石油或水的形式存在)、物理吸附态和化学吸附态。对应于轻烃地球化学场, 就有4种直接的表现形式: (1) 地层区域空间内游离轻烃的组成和浓度变化; (2) 地层区域空间内溶解轻烃的组成和浓度变化;

(3) 地层区域空间内物理吸附轻烃的组成和浓度变化; (4) 地层区域空间内化学吸附轻烃的组成和浓度变化。可以并可建立相应的轻烃分析方法。

轻烃地球化学场还存在着一种间接的表现形式, 即轻烃在垂向运移过程中和环境介质发生氧化还原反应后所引起的环境介质的某些物理化学参数的变化。据此, 也可以建立起相应的物理化学分析方法(例如测量地层的pH值、氧化还原电位、放射性及分析沉积岩的成分, 等等)。藉以追踪轻烃运移的过程及痕迹, 判断轻烃场源是否存在及场源的位置和性质。

4 影响因素

4.1 场源

场源主要有3种类型: 气藏、油藏及油气同藏。场源不同, 轻烃的组成和含量亦不同, 轻烃分子所受的作用力也不同, 必然导致环境中轻烃的组成和含量特征的差异。气藏中轻烃分子半径小, 分子间作用力小, 轻烃的湿度($W_h = \frac{C_2 + C_3 + C_4 + C_5}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5}$)小, 必然向环境运移的能力很强, 环境中轻烃的含量较高且湿度较小; 油藏中轻烃分子受到溶剂的吸引力很大, 不能自由移动, 向环境中运移, 必须首先克服溶剂的引力, 故运移能力弱, 环境中轻烃的含量低, 温度大; 油气同藏中, 气藏在油藏上方, 其中的轻烃湿度较大, 分子间作用力较小, 向环境运移能力较强, 环境中轻烃的含量及湿度介于油藏环境和气藏环境之间。

4.2 轻烃分子性质

轻烃组分的分子量越大, 沸点就越高, 饱和蒸气压就越小, 也就越不易溶于水而越易溶于石油, 并易于被吸附。反之, 轻烃分子链中支链越多, 沸点越低, 越不易被吸附。同时分子量越大, 分子半径越大, 越不易通过微小的孔隙向上运移。因此, 轻烃分子性质的差异导致了轻烃运移能力不同, 而且在运移过程中发生成分分异效应, 进而影响了轻烃地球化学场的场性质。

4.3 环境

(1) 随着地层压力的增大, 轻烃在水和石油中的溶解度增大, 轻烃吸附量也增大; 随着地层温度的改变, 轻烃分子的内能发生改变, 和环境相互作用的能力也随之改变, 从而引起轻烃的溶解度、吸附量、组分和含量的变化。

(2) 运移的通道越大, 不但轻烃运移的速度越快, 而且分子半径较大的重烃也可通过, 但成分分异效应越小。通道表面的化学组成不同, 对水及轻烃的吸附能力不同, 导致了轻烃在其中运移时发生成分分异效应亦不同。

(3) 地层含水饱和度越高, 游离态轻烃含量越少, 吸附态轻烃含量也越少, 而水溶轻烃的含量却增大。

(4) 近地表的沉积岩层中, 生活着两类对轻烃的分布起相反作用的微生物: 一类是以氧化轻烃获取能量的微生物; 另一类是以分解大分子有机物, 生成轻烃而获取能量的微生物。微生物作用下轻烃的生成和消失, 都可使对应地层中的各赋存状态轻烃之间的平衡发生移动。

5 轻烃地球化学场特征

轻烃地球化学场中轻烃的分布是在三维空间上的累积分布。因此, 轻烃地球化学场是空间的函数。在一定时期内, 如果空间结构是稳定的, 则轻烃地球化学场就是稳定的、静态的; 如果地层空间结构在一定时间内发生了变化, 轻烃地球化学场也随之发生变化。同时, 轻烃在空间上的分布又是在一定时间内的累积效应。因此, 轻烃地球化学场也是时间的函数。因此对轻烃地球化学场的认识必须同时考虑空间和时间的两个变化因素, 并用动态

和静态相统一的方法方能揭示出其本质属性。

轻烃地球化学场不是以简单的浓度梯度(纵向剖面上)或浓度异常(横向剖面上)的形式表现出来, 而是以空间结构上的轻烃的赋存状态、组成及含量的综合特征表现出来。因此, 全面地认识轻烃地球化学场, 必须结合环境地质及生物条件, 着重分析场源及环境中轻烃的赋存状态、组成和含量上的特征, 方能真正为油气勘探和开采服务。

6 结论

(1) 轻烃地球化学场是油气藏地球化学场的一种表现形式, 其性质和特征很大程度上代表着油气藏地球化学场的性质和特征。

(2) 地层中, 轻烃的赋予状态、组成及含量是轻烃与环境进行物质和能量交换的结果。

(3) 轻烃地球化学场是空间的函数, 也是时间的函数, 其特征是以轻烃的赋存状态、组成及含量的综合特征表现出来。

参 考 文 献

1 郝石生, 林玉祥, 王子文. 油气地球化学勘探方法与应用. 北京: 石油工业出版社, 1994. 1~ 17
2 林壬子. 轻烃技术在油气勘探中的应用. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 39~ 40
3 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学. 北京. 高等教育出版社, 1991. 934~ 968

FORMATION AND CHARACTERISTICS OF LIGHT HYDROCARBON
GEOCHEMICAL FIELDS

Li Guangzhi
(Oil & Gas Geochemical Prospecting Center, CNSPC, Hf ei, Anhui)

Abstract

Light hydrocarbon geochemical field is one of the manifestations of hydrocarbon. Geochemical field is composed of field source and field effect. The field source is the material base of light hydrocarbon remigration; the field effect, which is effected by the solubility of formation water and country rock property, is the interaction of light hydrocarbons and soil substrate. During migration, light hydrocarbors possess the behaviour of dynamical equilibrium and divergence, the migration direction is determined by the contrast between passages and resistance. It is suggested that, in geochemi- cal exploration, one should not only consider the property of field source, but also the preservation state, the composition and contents of light hydrocarbons, and carry out comprehensive analysis in time-space.

Key Words: Light hydrocarbon geochemical field field source field force field effect