

文章编号:1672-9854(2010)-01-0051-04

海相碳酸盐岩成岩作用与排烃特征

许化政,王传刚,刘春燕

(中国石化股份有限公司石油勘探开发研究院)



摘要 与泥页岩以缓慢压实为主的成岩作用不同,碳酸盐岩的成岩以胶结和交代作用为主,并在浅埋处几乎失去其所有的原生孔隙和沉积水。碳酸盐岩在埋藏条件下处于近完全封闭的压实流环境中,深埋和地温升高除形成小规模的压溶作用(如缝合线)外,其他类型的成岩作用很微弱。在进入有机质生烃的门限深度后,低丰度有机质虽可生成一定数量的烃类,但碳酸盐岩不像泥岩那样可以脱出大量压实水,烃的运移既无“载体”,又无异常高压作为动力和造缝条件,烃类很难大规模运移。在其后的成岩作用中,烃类或分散于封闭的晶间孔隙中,或与矿物结合形成晶包有机质和包裹体有机质,造成碳酸盐岩含烃率常常高于泥页岩。

关键词 碳酸盐岩;泥页岩;成岩作用;排烃效率;有效烃源岩

中图分类号:TE112.23 **文献标识码**:A

许化政 1943年生,硕士,教授级高级工程师。1968年毕业于北京石油学院勘探系,1981年获工学硕士学位,石油地质专业,长期从事石油地质和油气勘探地质研究。通讯地址:100083北京市海淀区学院路31号

排烃效率是烃源岩评价的重要条件。一些地球化学工作者通过模拟实验,得出碳酸盐岩排烃效率高的观点,并由此认为碳酸盐岩生油指标的下限可以降低。而地质实际中的排烃效率,需要从碳酸盐岩成岩、排烃的动力条件、运移方式和运移通道的综合上来认识,与排烃实验得出的结论完全相反。

1 碳酸盐岩中的烃含量

一个普遍的事实是:碳酸盐岩中的烃含量(烃/岩石)高于泥页岩。虽然大多数石灰岩和白云岩中的有机质含量仅为页岩的1/10,但其烃含量可与页岩中的数量相当;泥岩中的TOC平均含量(1.14%)为碳酸盐岩(0.24%)的5倍,但二者的烃含量却几乎一样^[1],并由此得出一个结论:碳酸盐岩的烃转化率(HC/TOC)比泥岩高4倍。Baker^[2]的研究也证实,碳酸盐岩内烃类与有机碳的比值比页岩高得多,并认为“这与石灰岩趋向于封锁住本身的烃类,而要释放出来比页岩困难得多”的概念是一致的。Chaykovskaya^[3]提出,碳酸盐岩成岩作用早,致使其中所含的沥青不能运移到

围岩中去,是土鲁汉斯克和诺里尔斯克地区碳酸盐岩内沥青含量高的原因。夏新宇认为^[4],“碳酸盐岩的HC/TOC值高于泥页岩”有可能是异地运移烃的增多、排烃效率低和高的岩石吸附能力造成的,并不能说明碳酸盐岩的有机质烃转化系数高。

实际上,上述专家所说的烃仅是吸附烃(氯仿沥青“A”)的部分,除此之外,碳酸盐岩中还有一定比例与矿物结合形成的包裹体有机质(沥青“B”)和晶包有机质(沥青“C”)。赵政璋^[5]等对华北石炭系灰岩测试的“A”：“B”：“C”比值为(65%~95%):(1%~5%):(3%~20%);下扬子地区下古生界碳酸盐岩的“A”：“B”：“C”比值为(30%~60%):(3%~10%):(38%~60%)。

由于碳酸盐岩的有机质多为Ⅲ型或Ⅱ₂型干酪根,不可能有高的烃转化率,沥青“A”+“B”+“C”很可能就是其总的生烃率。

显微镜下观察鄂尔多斯盆地地下古生界碳酸盐岩样,可高频率地发现各种形式的沥青和石油;沥青主要以不规则粒状分散弥漫在矿物颗粒边缘,个别分

收稿日期:2009-05-01

布在生物体腔内,或沿缝合线形成“死油”。更多的则是各类不含水或含水较少的油、气包裹体。吴征等^[6]对鄂尔多斯盆地近百件样品作了较系统的有机岩石学观察,在对其所见的各种沥青的光性特征和赋存形式分析基础上,确定出原生—同层沥青(碳酸盐岩自身生成的沥青),然后进行目测统计,计算了原生—同层沥青(含包裹体有机质)面积占岩片总面积的百分含量,并与岩石的有机碳含量(TOC)做图,结果是二者间为正相关关系(图1)。这样求出的原生沥青含量可达0~3%,平均1.6%^[6],且与岩石的TOC为正相关,说明碳酸盐岩的排烃是非常有限的,大部分仍滞留和包裹在其母岩内。

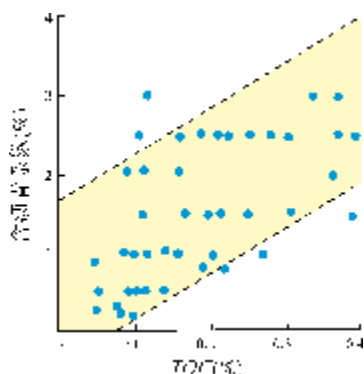


图1 鄂尔多斯盆地北部下奥陶统原生沥青含量—有机碳丰度相关变化图^[6]

2 泥质岩的成岩与排烃作用

由于对碳酸盐岩成岩和释出液体到油藏的了解还较少,因此将石油在碳酸盐岩和黏土中的初次运移进行对比说明是必要的。

泥质沉积物在不断加大的埋藏作用下,会出现以下影响油气初次运移的变化。

(1)泥质岩是由粒径1~5 μm,具有像云母一样片状构造,层状含水的铝硅酸盐矿物组成的凝絮状沉积物。成岩初期和早期,对上覆地层压力的承载,是由片状矿物和孔隙水共同承担的,压实成岩作用表现为孔隙水的减少和黏土矿物的有序排列。这个过程极其缓慢,持续进行到有机质开始生烃时(地温80~100℃,埋深2 400~3 000 m),泥岩中仍含有大约8%~10%的孔隙水^[7]。这时,组成泥质岩主要组分的可膨胀黏土在热力作用下向非膨胀性黏土转化,如蒙脱石转化成伊利石,脱出大量层间水。由于黏土矿物脱水的时间与油气生成的时间是同步的,且新

脱出的层间水和结合水矿化度极低,对烃类有较强的溶解能力,因此成为油气初次运移的“载体”^[8]。

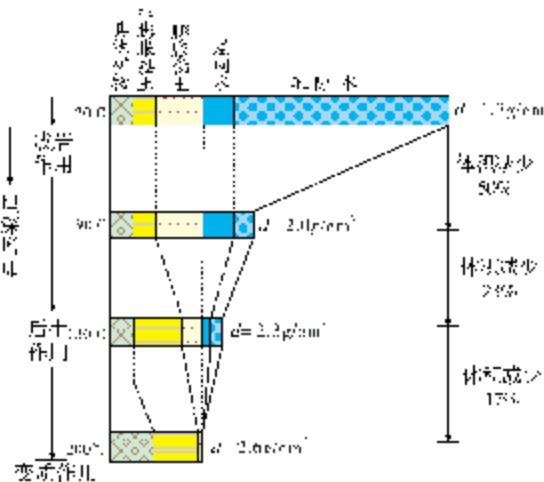


图2 压实—脱水作用期间页岩主要组分变化略图^[10]
d 泥岩比重

(2)泥岩因矿物转化释出层间水的过程,也是固体矿物颗粒体积收缩、泥岩孔隙度变大、自由水体积增加的过程,上覆地层的压力,将主要由泥岩中的孔隙水承担,因而出现泥岩的异常高压和欠压实。由于前期的压实和页岩中缺少连续的渗透层或其他的排液通道,新生流体不能及时排出,不断增加的自由水(含烃)体积和异常压力将使黏土矿物晶片间产生裂隙,自由水从页岩排出,泥岩降压,裂缝闭合。此后,随着埋深加大和地温升高,泥岩出现新一轮的脱水、生烃、压力积累,以及新一轮的造缝和排水排烃,如此反复,直到地温达130℃($R_0=1.3\% \sim 1.5\%$),蒙脱石大部或全部转化为伊利石,有机质生成液态烃潜力近于耗尽^[9]。在这个过程中,泥岩孔隙度由8%~10%降至3%以下,泥岩比重(d)由2.0 g/cm³增至2.3 g/cm³以上,泥岩内的烃得到了较程度的排放^[10](图2)。

(3)在有互层的孔隙沉积物(如砂岩)存在时,泥质烃源岩与孔隙性地层之间可产生很大的流体势能差,泥质岩因此能有效地排出自身流体到孔隙性地层中(图3a)^[11]。水是地质体中最活跃的因素,碳酸盐是不稳定的矿物,压实流在孔隙性地层(砂岩)流动过程中可以溶解起封堵作用的钙质胶结物,由此改善储集性能。在与非孔隙型沉积物(如石灰岩)互层时,泥质岩与灰岩之间的巨大势能差同样可促使泥岩中高压高温流体(水和烃)排向两种岩性间的界面,并发生碳酸钙的溶解、造孔造缝,改善流体运移通道(图3b)。

(4)携带有大量石油的流体离开泥岩进入孔隙储集层后,物理和化学条件的改变可引起原油的释出,油珠增大,从此再也不能进入到致密围岩细小的水湿孔隙中。

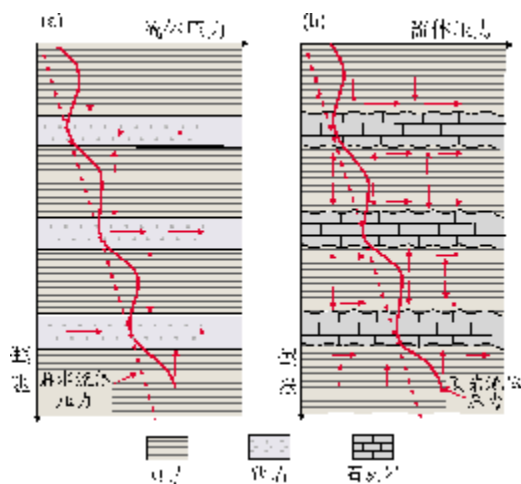


图3 不同岩性组合流体运移示意图

3 碳酸盐岩的成岩与排烃作用

碳酸盐岩的成岩作用与泥质岩不同,因而其排烃机理不同,主要表现在以下几个方面。

(1)碳酸盐岩的固结,主要不是压实,而是胶结和交代作用,发生在沉积表层水活跃的海底浅埋藏阶段(准同生阶段)。Ginsburg^[12]指出,碳酸盐泥中的大部分沉积水在埋藏不到1m时就失去了。Weller^[13]同意石灰泥中只有很小的压实作用的观点,认为胶结和交代作用在很浅的埋藏处就可以使碳酸盐泥的孔隙度降低到几乎为零。笔者同意上述学者的观点,认为碳酸盐的固结成岩不是通过重力作用(压实)实现的,而是通过胶结、交代和重结晶等石化作用实现的,就像我们在九寨沟、黄龙旅游区看到的,石化作用可以发生在地表或很浅的埋藏处,石化后的碳酸盐岩非常致密,几乎不含沉积水。

(2)由以上可知,碳酸盐岩有机质在埋藏很浅处就进入一种近于完全封闭的环境。其后的埋深加大和地温升高,虽能引起矿物的转变(交代)、重结晶和晶粒生长,但都是在矿物颗粒接触处的固态下进行的,范围极其有限。在不溶解的情况下,离子从一个晶格迁移到另一个晶格,不稳定矿物(文石、高镁方解石)趋向于转变为稳定矿物,大颗粒趋向于交代小颗粒,细晶镶嵌结构趋向于转变为粗晶镶嵌结构,虽

然可以有限度地增加碳酸盐岩的孔隙度,但并不能改善其渗透率,这是因为局部晶间孔隙的增大,是以晶粒之间的更加紧密接触为代价的。

(3)碳酸盐岩中既无沉积水,成岩过程中又无新生水,极大地增加了原生性碳酸盐岩中油气初次运移的难度。首先,由于缺乏水载体,石油只能以细小的油珠运移。为了通过碳酸盐岩极细的晶间孔隙,油珠必须依孔隙形状来改变其自身,但这种改变必须克服很高的表面张力,阻力很大。其次,碳酸盐岩中的TOC很低,生烃增压和热膨胀增压都不足以产生像泥岩那样脉冲式地压力积累—超压—微裂隙—排水排烃现象,也不可能积聚起足以使油珠克服表面张力,在微孔隙中长距离运移的动力。

(4)持续埋深的碳酸盐岩最明显的成岩作用是压溶作用,它可以引起颗粒的溶解、胶结和缝合线形成。压溶作用形成的缝合线可以在有限的范围内改善烃的排放条件,但压溶作用释放出的 CaCO_3 充填在颗粒附近的孔隙内,堵塞了孔隙。除此之外,其他类型的成岩作用很少。这是因为地下深处的碳酸盐岩不含水,缺少水带动的各种金属离子交换,不能发生较强的重结晶作用,碳酸盐岩颗粒之间是密封的,不容许流体在其间流动。

(5)华北海相碳酸盐岩沉积环境稳定,厚度巨大,纵向上缺少孔隙型储集层。因此碳酸盐岩不但初次排烃效率低,二次运移条件也极差,仅从这方面考虑,碳酸盐岩作为有效烃源岩几乎是不可能的。

(6)泥灰岩具有黏土与碳酸盐岩之间的矿物成分,对它的成岩特征和释出液体到油藏的可能性了解得还很少。但从机理上讲,泥灰岩的排烃效率应介于二者之间,如果没有足够量的烃生成,泥灰岩不可能成为有效烃源岩,这就要求泥灰岩要有较高的有机质丰度($\text{TOC} > 0.5\%$)^[14]。

(7)在成岩变化中,碳酸盐岩低丰度有机质生成的少量烃类,或散布于分散、孤立、近于封闭的晶格中,或与矿物结合形成晶包有机质和包裹体有机质,被永久地封闭起来,这就是碳酸盐岩含烃量高的原因。只有在构造运动形成区域性隆升或褶皱,并产生断裂、裂隙、节理以后,造成了大规模的地面水下渗,形成了地下水流动环境,碳酸盐岩才有可能成孔、成洞和造缝而改善运移通道和形成储集层。但在这种环境中,早期形成的烃或氧化成分散沥青,或被矿化俘获封闭起来,大部分烃类仍不能加入到聚集成藏的行列中。

4 结 语

世界上许多大油气田的储集岩是碳酸盐岩,与鄂尔多斯盆地地下古生界气田一样,含气剖面中的围岩几乎全由碳酸盐岩组成,其他岩性很少,因此误把碳酸盐岩作为烃源岩。随着研究工作的深入,人们发现碳酸盐岩含有机质丰度低,类型差,开始对碳酸盐岩的生油有效性产生怀疑,并发现区域性分布碳酸盐岩的地区没有大油气田,大油气田总是和碳酸盐岩剖面中所含的厚度并不算大、但分布广、含有机质丰度高的泥页岩有关联,最终确认这种海相高有机质丰度泥页岩为有效烃源岩。依此思想部署勘探,大大提高了大油气田的发现速度。

中国的海相油气勘探起步于 20 世纪 80 年代。由于海相沉积稳定,相带宽缓,有关海洋沉积相(特别是烃源岩发育的构造部位、沉积环境)的研究相对滞后。地球化学工作者依据有限的分析化验数据、过多地“模拟实验”研究碳酸盐岩的生油性,常常是各执己见,至今未获得统一的认识。假如我们把碳酸盐岩的低有机质丰度、差有机质类型放到沉积环境中去研究,把碳酸盐岩生油的有效性放到成岩演变中去认识,我们就不会得出所谓的碳酸盐岩“烃转化率高”、“排烃效率高”、“有机碳应该恢复”等的错误认识,不至于人为地拉低碳酸盐岩生油的评价标准。

参 考 文 献

- [1] Gehman H M. Organic matter in limestones[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1962, 26:885-897
- [2] Baker D R. Organic geochemistry of Cherokee Group in south-eastern Kansas and northeastern Oklahoma[J]. *AAPG Bull.*, 1962, 46:1621-1642.
- [3] Chaykovskaya E V. The question of carbonate oil source beds in the Turukhansk and Noril'sk district[J]. *Izv Vysshikh Uchebn Zavedenii Nefti Gaz*, 1960, 3:19-25.
- [4] 夏新宇. 碳酸盐岩生烃与长庆气田气源[M]. 北京:石油工业出版社, 2000.
- [5] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原海相烃源层的油气生成[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [6] 吴征, 杨元初, 王新红. 鄂尔多斯盆地奥陶统原生-同层沥青分析[J]. *天然气工业*, 1999, 13(6):14-17.
- [7] 刘宝泉, 张锦泉. 沉积成岩作用[M]. 北京:科学出版社, 1992, 120-122.
- [8] 王行信. 蒙脱石的成岩演化与石油的初次运移[J]. *沉积学报*, 1985, 3(2):81-89.
- [9] 陈荷立, 等. 编译. 油气运移[M]. 北京:石油工业出版社, 1987
- [10] Burst J F. Diagenesis of gulf coast clays sediments and its possible relation to petroleum migration[J]. *AAPG Bull.*, 1969, 53 (1) : 73-93.
- [11] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京:石油工业出版社, 1994.
- [12] Ginsburg R N. Early diagenesis and lithification of shallow-water carbonate sediments in South Florida[C]// Le Blanc R J, Breeding J G. *Regional Aspects of carbonate Deposition-Soc. Palaeontologists Mineralogists, Spec Publ.*, 1957, 5:80-100.
- [13] Weller J M. Compaction of Sediments[J]. *AAPG Bull.*, 1959, 43:273-310.
- [14] 张永昌, 梁狄刚, 张宝民, 等. 塔里木盆地海相油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.

编辑:赵国宪

Diagenesis and Expulsion efficiency of Marine Carbonate Rock

Xu Huazheng, Wang Chuangang, Liu Chunyan

Abstract: Being different from diagenesis of argillite that is mainly secular compaction, the diagenesis of carbonate rock is mainly cementation and metasomatism so that carbonate rock almost lose all of primary pores and depositional water in it. The carbonate rock is in the perfectly enclosed environment of compacting fluid with deep burial. Besides of small-scaled pressure solution that is formed by deep burial and geothermal rise, other styles of diagenesis are faint. After organic matter enter the depth of hydrocarbon generation threshold, low abundance of organic matter may generate an amount of hydrocarbon but carbonate rock may not cast off such same great deal of compaction water as the argillite. Due to neither carrier of hydrocarbon migration nor dynamics of abnormal pressure with fracture-generating condition, hydrocarbon compounds are difficult to come out from its parent rock in large scale. Hydrocarbon compounds may be dispersed in disconnected intercrystalline pores and form crystal-wrapped organic matter combined with minerals and inclusion enclave organic matter, which results in hydrocarbon percentage of carbonate rock commonly higher than that of argillite.

Key words: Carbonate rock; Argillite; Diagenesis; Expulsion efficiency; Effective source rock

Xu Huazheng: male, Professorial Geologist. Add: Sinopec Research Institute of Petroleum Exploration and Production, 31 Xueyuan Rd., Beijing, 100083 China