

中国南方下古生界碳酸盐生油岩的成岩方式与烃类初次运移关系探讨

陈彦华 刘 莺

(地质矿产部石油地质中心实验室)

碳酸盐岩生油岩存在两种不同的成岩方式,对应着两种不同的运移和聚集条件,从而决定了两个不同的油气普查勘探方向。盆地区的碳酸盐岩生油岩是有效的生油岩,台地区的碳酸盐岩生油岩则不是有效的生油岩。

碳酸盐岩能否成为有效的油气源岩主要决定于两个因素:一个是碳酸盐岩最低限度的有机质的含量,另一个是碳酸盐岩初次运移的条件。前者主要取决于沉积环境,后者主要取决于成岩环境和成岩方式。关于海相碳酸盐岩的有机质丰度的下限值的问题已有许多文章对此作过详细的讨论。本文主要从碳酸盐岩的成岩方式与烃类初次运移关系方面进行讨论。

本文通过对中国南方下古生界碳酸盐生油岩的成岩方式与烃类运移、聚集关系的初步研究,提出了这样的观点:认为没有初次运移条件的碳酸盐岩,其有机质丰度再高也很难成为有效的油气源岩,因为没有有效的初次运移,油气的聚集就失去了前提,对碳酸盐生油岩是否存在运移和运移规模的认识又直接关系到今后对碳酸盐岩油气田普查勘探的方向。而碳酸盐生油岩的初次运移的条件与其成岩环境、成岩方式有着极为密切的关系。

一、碳酸盐生油岩的两种成岩方式

(一) 近地表环境的胶结方式成岩

这一成岩方式是浅水台地区碳酸盐沉积物的主要成岩方式。许多岩石学家对近代和古代浅水台地区碳酸盐岩成岩作用的研究后都得出类似的认识,认为碳酸盐岩的石化作用发生在成岩早期的近地表环境中,并主要以胶结和重结晶方式成岩。由于这一成岩方式主要发生在近地表环境,受淡水影响强烈,使碳酸盐岩中的有机质在这一成岩过程中绝大部分被氧化破坏,同时伴随方解石中氧的轻同位素(^{18}O)的加入和钠、镁、锶等微量元素带出。中国南方下古生界台地区的碳酸盐岩有机质丰度低,一般小于0.1%,平均值只有0.05%左右,除沉积因素外,有机质的成岩保存也是重要的原因。在台地内部,局部免受淡水影响的地区,有机质也可被较好的保存下来,但在油气成熟阶段,烃类很难从已经固化的岩石中运移出来。因此认为这一成岩环境和成岩方式既不利于有

机质的成岩保存，也不利于烃类的初次运移。这是我国南方下古生界浅水台地区碳酸盐生油岩不发育的主要原因。

(二) 深埋环境的压实方式成岩

碳酸盐岩能否以压实方式成岩，至今尚未定论。近年来随着对近代和古代深水碳酸盐岩沉积环境和成岩作用研究的深入以及对碳酸盐沉积物的压实试验，越来越多的资料证明，碳酸盐沉积物也可像泥岩一样以压实方式成岩。

E.A. Shinn等人(1977)的压实试验，提供了这一成岩方式的有力证据，他们把佛罗里达南，比斯坎湾粒泥状碳酸盐沉积物样品，在556kg/cm²压力下，加压约三个星期，使原先50.8cm长的样品被压缩到11.4cm，大致被压缩掉75%的体积，从而形成了一种孔隙度很低，以致塑料无法渗入的“岩石”，而且其中的介壳、有孔虫及其他化石无明显的压碎。这一试验结果表明，灰泥可以通过压实成岩，同时推翻了把泥晶灰岩中介壳化石未被压碎作为否定压实石化的证据。

大量岩石学观察的资料表明，不仅许多泥晶灰岩表现出明显压实的特征，而且许多颗粒碳酸盐岩也表现出强烈机械压实的特征，如颗粒的压扁、变形、嵌入以及压碎和压裂等。

深埋环境以压实方式成岩的碳酸盐生油岩，在我国南方下古生界地层中，主要见于较深水的盆地相和深陆棚相的碳酸盐岩中。这类生油岩有机质丰度在0.3—3%，近于或略低于与其共生的泥质岩，含有数量不等的泥质，主要成岩作用是压实作用和压实白云化作用，重结晶作用微弱，岩石在显微镜下具均一的泥晶结构，在扫描电子显微镜下(图版I—1)，显示出压实结构的特征，泥晶方解石之间呈压实镶嵌接触，晶体被压扁拉长，长轴平行层面，少量水云母鳞片沿晶间结合面呈弯曲状分布。

这一成岩环境有利于有机质的成岩保存，这一成岩方式，由于石化时间与油气成熟时间相近，因此有利于烃类的初次运移。据此，认为在深埋环境以压实方式成岩的碳酸盐生油岩是有效的油源岩。我国南方下古生界主要的油源区应是较深水的盆地相区和深陆棚相区。

二、碳酸盐生油岩中运移沥青产状及烃类运移

发生过沥青初次运移的生油岩，必定会在岩石中留下其运移的痕迹，因此对碳酸盐生油岩中运移沥青产状的分析是认识生油岩运移条件、运移方式的“钥匙”和证据。由于台地区和盆地区的碳酸盐岩生油岩的成岩环境和成岩方式有很大的差异，因此它们运移的条件和运移的方式也很不相同。

(一) 台地区碳酸盐生油岩沥青产状与烃类运移

台地区碳酸盐生油岩，石化早于油气成熟，烃类运移条件差，主要依赖下列几个作用，使油气在生油层内发生局部的运移和聚集。

(1) 深埋重结晶作用

这一作用不同于近地表的淡水潜流带的重结晶作用，其主要特征是常有二价铁进入碳酸盐的晶格，形成晶体粗大的含铁方解石和含铁白云石，同时还有有机成因的CO₂进

入碳酸盐晶格,使碳酸盐矿物富含碳的轻同位素(^{12}C),由于这种重结晶在还原条件下进行,所以不破坏有机质。重结晶的结果使生油岩中绝大部分呈细分散状态的原始生油物质及其所生成的烃类被排到粗大碳酸盐矿物的晶间,少部分被包于晶内,成为有机包裹体(图版 I—2)。这一作用在一定程度上起到了相对富集的作用。但这一作用在岩石中分布比较局限,只出现在两种岩性界面和纹层面上。

(2) 深溶作用

生油岩在深埋阶段,由于有机质的脱羧基产生的有机酸和 CO_2 使介质的 P^{H} 值降低,增加了对碳酸盐矿物溶解的能力,这种介质在沿层间隙流动时,使碳酸盐矿物局部溶解,形成沿层面分布的溶孔和溶缝。生油岩中分散的烃类通过扩散方式进入溶孔和溶缝。沥青在生油岩内沿层面呈断续的斑点状和条片状分布,是烃类以上述方式进入溶孔和溶缝的证据(图版 I—3、4),这一作用使烃类在生油岩内发生了局部的运移和聚集。

(3) 成岩微裂缝的形成作用

成岩微裂缝形成有两种机理;一种是差异压实作用,即在两种岩性呈刚塑间互的地层中(如纯灰岩与泥质灰岩呈条带或薄层互层),在深埋阶段强大静压力下,塑性部分的岩层沿层面发生侧向流动,而刚性部分的岩层则出现垂直层面的拉张性微裂缝。另一种是由斯纳尔斯基(1962)提出:在生油岩内部,当流体压力大于周围的1.42—4.2倍时,就可超过岩石的力学强度而产生微裂缝。

上述两种成岩微裂缝,一般近于垂直层面,形态不规则,宽窄不一,宽一般在0.01—0.5mm之间,延伸长一般只几个毫米到几个厘米。固结在生油岩中的烃类,可以以扩散的方式进入成岩微裂缝,使烃类在生油岩内发生局部的运移和聚集。在碳酸盐生油岩的成岩微裂缝中普遍见沥青充填,是上述运移方式的一种证据(图版 I—5)。

台地区碳酸盐生油岩通过上述三种作用,都只能使烃类在生油岩内起到局部的运移和聚集的作用,严格地说并没有发生初次运移,这种运移和聚集在宏观上仍是分散的,不能形成自生自储的产层。较大规模的运移和聚集还需借助于后期的构造裂缝和构造圈闭的形成。

(二) 盆地区碳酸盐生油岩沥青产状与烃类运移

盆地区碳酸盐生油岩由于主要是在深埋阶段以压实方式成岩,生油岩石化近于或晚于油气成熟,因此其运移的条件比台地区生油岩好。盆地区碳酸盐生油岩中发育平行层面的微缝沥青(图版 I—6),这是烃类侧向运移的重要证据,侧向运移的动力是上覆地层的静压力或者沉降中心流体的内压力与盆地侧向孔隙层之间的压力差驱动,侧向运移的主要通道是层间隙,运移的方向是生油盆地的沉降中心向盆地倾斜上方碳酸盐台地边缘孔隙层运移。

如果生油盆地边缘孔隙层不发育或被早期胶结,这时侧向运移受阻,生油盆地形成局部封闭系统。这时如果埋深增加,温度随之升高,流体压力也随着增大可形成异常高压环境,亦可使岩层产生微裂缝并使烃类发生垂直运移。

三、对碳酸盐岩油气田普查勘探方向的认识

通过上述分析研究, 不难看出: 碳酸盐生油岩存在两种不同的成岩方式, 对应两种不同的运移和聚集的条件, 从而决定了两个不同的普查勘探的方向。它们之间的关系列于表1。

表1 碳酸盐生油岩的成岩环境、成岩方式与成油条件关系表

| 生油岩沉积环境 | 成岩环境 | 主要成岩方式 | 有机质成岩保存条件 | 石化相对时间 | 油气运移聚集条件 | 可能圈闭类型和形成时间 | 储集类型 | 油气普查勘探方向 |
|---------|-------|--------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------------------------|
| 台地区生油岩 | 近地表环境 | 胶结和重结晶 | 受淡水影响强烈, 有机质保存条件差 | 石化早于油气成熟 | 生油层内, 局部运移聚集, 油气分散, 初次运移条件差 | 靠构造裂缝运移, 进入早一晚期的构造圈闭 | 以自生自储为主的裂缝型储集层 | 在台内生油区中, 以找裂缝型构造圈闭为主 |
| 盆地区生油岩 | 深埋环境 | 压实 | 不受淡水影响, 有机质保存条件好 | 石化晚于或近于油气成熟 | 油气侧向运移, 进入孔隙性储层, 初次运移条件好 | 早期岩性圈闭、地层圈闭和经后期改造形成的构造-岩性复合圈闭 | 以古生古储, 新生古储为主的孔隙型储层 | 在邻近生油盆地的台缘区和过渡区, 找孔隙型的岩性、地层圈闭和与构造的复合圈闭 |

由表1可知:

1. 深埋环境以压实方式成岩的碳酸盐生油岩是有效的油源岩, 因为这一成岩环境和成岩方式既有利于有机质的成岩保存, 也有利于油气成熟时烃类的侧向运移。这类碳酸盐生油岩中平行层面的运移沥青发育, 标志着具有侧向运移的条件, 因此以这类生油岩为油源的油气藏的普查勘探, 应选择邻近生油盆地的台缘区和过渡区, 在沉积或成岩孔隙发育的部位, 找早期的孔隙型岩性圈闭(成岩圈闭或沉积圈闭)、地层圈闭以及经后期改造形成的构造-岩性复合圈闭。

2. 近地表环境, 以胶结和重结晶方式成岩的碳酸盐生油岩, 不是有效的油源岩, 因为这一成岩方式不利于有机质的成岩保存, 更主要的是它缺乏油气早期聚集所必需的初次运移, 这类生油岩经深埋环境的成岩改造, 如深埋重结晶、深溶作用和成岩微裂缝的形成作用, 使烃类在生油层内发生局部的运移和聚集, 但在宏观上仍然是分散的。这种生油岩内只发育孤立的斑点状和条片状的沥青及一些孤立的晶洞油苗和裂隙苗, 这是运移条件差的表现, 要使封闭于生油岩内分散的烃类, 发生一定规模的运移并聚集, 只能借助于后期构造裂缝, 并进入构造圈闭。因此以这类生油岩作为油气源的油气藏的普查勘探应以碳酸盐岩生油层和生油区作为直接勘探目标, 以找自生自储的裂缝型的构造圈闭为主。

(收稿日期: 1986年6月20日)

参 考 文 献

- [1] Robin G.C. Bathurst 《碳酸盐岩沉积物及其成岩作用》, P.239—346——科学出版社, 1977。
- [2] P.A. Scholle 《深水石灰岩的沉积作用、成岩作用及油气潜力》——石油工业出版社, 1982。
- [3] E.A. Shinn和B. Halley等 石灰岩的压实作用——《国外地质》, No.1, 1983。
- [4] 王尧 碳酸盐岩中的实压和压溶作用——《天然气勘探与开发》, 1982。
- [5] 田口一雄 碳酸盐生油岩的研究——《油气地质译丛》, 第2期, 1984。
- [6] M.J. Davidson 前景光明的垂直运移理论——《油气地质译丛》, 第2期, 1984。
- [7] 李明诚 有关油气初次运移问题的讨论——《石油实验地质》, 第1期, 1984。
- [8] 林全庄译 石油初次运移的几个问题——《天然气勘探与开发》, NO.2, 1982。
- [9] Kinji Magara 沉积盆地中天然裂缝形成机理——《天然气勘探与开发》, No.4, 1981。
- [10] B.E. Law Conceptual Model for Origin of Abnormally Pressured Gas Accumulations in Low-Permeability Reservoirs A.A.P.G. V.69, No.8, 1985。

图版 I 说明

1. 安徽滁县, ϵ_2 , 电子扫描显微镜照相, $\times 1250$ 倍。
泥晶灰岩, 在电子扫描镜下显示出压实结构的特征; 泥晶方解石之间呈压实镶嵌状接触, 晶体呈压扁拉长状, 长轴平行层面, 少量水云母鳞片, 沿晶间结合面呈弯曲状分布。
2. 浙江江山, ϵ_1 , 自然光, $\times 27.5$ 倍。
黑色粗晶灰岩中, 黑色沥青主要沿晶间结合面分布, 部分呈细小的晶内包裹体。
3. 浙江富阳, ϵ_1 , 自然光, $\times 40$ 倍。
深灰色粉晶灰岩中, 黑色沥青沿层面呈断续的条片状分布。
4. 江苏, 昆山, ϵ_1 , 自然光, $\times 110$ 倍。
灰黑色生物细粉晶含泥灰岩中黑色沥青沿层面溶孔充填, 洞壁为带壳状方解石充填。
5. 浙江江山, ϵ_3 , $\times 27.5$ 倍。
灰色条带状灰岩中, 黑色沥青沿垂直层面的根须状微裂缝分布。
6. 浙江安吉, ϵ_3 , 自然光, $\times 30$ 倍。
深灰色条带状泥晶灰岩中, 黑色沥青沿层面连续分布。

DISCUSSION ON RELATIONSHIP BETWEEN
THE DIAGENESIS OF CARBONATE SOURCE ROCKS
AND PRIMARY MIGRATION OF HYDROCARBONS IN
LOWER PALEOZOIC OF SOUTH ERN CHINA

Chen Yanhua

Liu Ying

(Central Laboratory of Petroleum Geology,
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Based on the studies of relationship between the diagenesis of marine carbonate source rocks and the migration of hydrocarbons in Lower Paleozoic of Southern China, it is suggested that there are two different diagenesis, two carbonate source rocks, two different related conditions for the migration and the accumulation of oil/gas. Therefore, two different guidelines of petroleum exploration are decided. The carbonate source rocks in basin area formed dominantly under compaction in a deep buried environment and they are the effective source rocks for the generation of oil and gas.

The carbonate source rocks in platform mainly formed in cementation near surface environment. Since the lithification of such a kind of source rocks takes place before the migration of hydrocarbons, it lacks of primary migration of hydrocarbons and the source rocks are unefficient.

In this paper, it also points out that the occurrence of migrated bitumen is the key point and the evidence for the understanding of migration condition and path in those source rocks.

