

陕甘宁盆地奥陶系源岩及碳酸盐岩生烃 的有关问题讨论^①

陈安定

(江苏石油勘探局地质科学研究所, 江苏江都 225261)

提 要 陕甘宁盆地中部气田是目前中国陆上最大的气田。气源研究确认, 该气田奥陶系天然气主要来源于奥陶系的一套低丰度碳酸盐。本文在介绍这套源岩地球化学背景基础上, 探讨了用于碳酸盐源岩工业性评价用的有机碳丰度指标。同时, 通过隐藻碳酸盐、钙藻碳酸盐等五种相环境源岩的对比分析, 提出氧化—还原条件等是影响早古生代碳酸盐岩石有机质丰度、性质、产烃能力的最直接的因素。

关键词 碳酸盐源岩 有机质丰度 陕甘宁盆地 碳酸盐源岩评价

第一作者简介 陈安定 男 49 岁 高级工程师 地球化学专业

1 盆地中、东部奥陶系岩石的有机质丰度及作为工业评价用的有机碳参考值

陕甘宁盆地中部气田已是闻名于世的中国陆上大气田。经气源研究证实, 其奥陶系储集气主要来源于奥陶系的一套低丰度碳酸盐⁽¹⁾。该碳酸盐是一套蒸发湖坪及浅水陆棚相带的含“隐藻”白云岩和灰岩。从这里和盆地东部(仍属含奥陶系源气的地区)所采集的 305 块奥陶系岩样, 其有机碳总平均值为 0.24%。其中, 云岩 C_{OTg} 平均 0.25%, 范围为 0.04%—2.11%, 主区间为 0.1%—0.5% (若去除 6 个 $C_{OTg} > 1.0\%$ 的样, 平均为 0.22%)。灰岩 C_{OTg} 平均为 0.21%, 范围 0.07%—0.35%, 主区间为 0.1%—0.35%。单独计算中部气田奥陶系岩样, 云岩 C_{OTg} 平均为 0.23%, 灰岩 C_{OTg} 平均为 0.24%。总体上看, 应属低丰度源岩。

根据“物质平衡法”和“成烃热模试验产物反推法”求得的过熟演化阶段“原始有机碳恢复系数”分别为 1.8—1.9 和 1.45±。这样, 计算这套地层的原始有机碳平均值可能为 0.35%—0.44%。

根据以上分析不难得出, 当 $R_o < 1\%$ 时, $C_{OTg} \geq 0.35\%$ 、 R_o 为 1%—2% 时, $C_{OTg} \geq 0.25\%$ 、 R_o 为 2%—3% 时, $C_{OTg} \geq 0.2\%$ 的碳酸盐地层应属能够形成大规模烃聚集的源岩层(中部气田奥陶系源岩属 $R_o > 2\%$ 的过熟源岩)。这对时代老、热演化程度高的低丰度碳酸盐的工业评价将具参考意义。

碳酸盐岩石荧光薄片研究提供了有机碳指标界线可进一步下移的信息。如图 1 所示, 次

^① 八五国家重点攻关项目 85-102-04-04 (名称: 陕甘宁盆地古生界天然气混源比及生烃能力评价)
收稿日期: 1995-04-12

生荧光沥青（次生荧光沥青一般以黄色、黄绿、蓝白色强荧光及缝、洞、孔隙的特殊产状为标志，反映油气的运移、储集。见图版 I-1）发育段相对贫有机质， C_{OTg} 一般小于 0.17%。它可以反映那些仅以接受外来烃类为主的岩石含有机质状况。岩石的原生荧光沥青发育段（原生荧光沥青主要以深棕至褐色或极弱黄色荧光色调，及弥漫状分布为标志，反映了石油的生成和向外扩散作用。见图版 I-2）岩石有机碳分布范围宽、含量偏高，一般为 0.14%—0.4%，少数 0.1%—0.13%。也就是说， C_{OTg} 在 0.1% 以上的岩石即可能具备生烃并排烃的条件。但是，如果将界线划在 0.1%，则可能包括了相当数量不具备排烃能力的岩石。按图中的统计，在此成熟条件下有机碳指标定在 0.15% 左右更为合适。

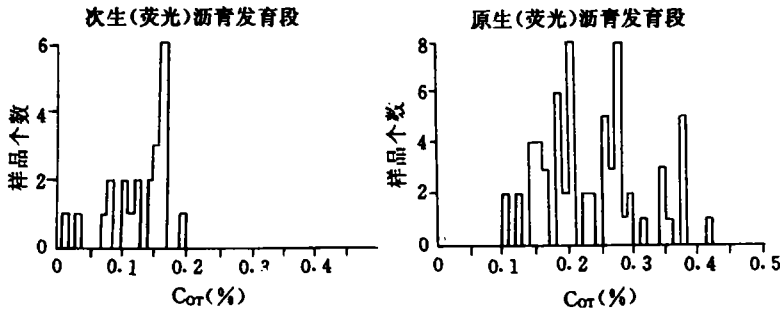


图 1 陕甘宁盆地中东部奥陶系碳酸盐岩次生沥青和原生沥青发育段 C_{OTg} % 分布对比图（据长庆研究院，王可仁，奕琴，1993）

Fig. 1 Organic carbon distribution of carbonates containing original and secondary bitumen in the Ordovician of the central-eastern Shan-Gan-Ning basin

位于盆地中央古隆起西侧的下奥陶统大套纯灰岩有机质丰度偏低，其样品分析几乎没有 C_{OTg} 大于 0.2% 的，平均为 0.13%—0.15%。其下伏白云岩和寒武系碳酸盐岩有机质丰度也大抵如此。即使在这样一套地层里面，也时常见到裂缝中充填的方解石发黄色荧光并含气、液烃类包体，说明曾沿裂缝发生油气运移。更能说明问题的是在李华 1 井下奥陶统 4300 多米处（距奥陶系顶 400 多米，可绝对排除上覆石炭系的反侵）发现了晶隙全充填产状的黄色荧光沥青，其荧光特征与中部气田奥陶系气层段的相一致。同时，在此深度点以下岩石中见巨大孔洞发育，并有黑色碳质沥青（反映淡水淋滤后，油气层遭破坏）。以上资料无疑反映了曾经发生的油气储集现象。

表 1 碳酸盐烃源岩的工业性评价参考界线

Table 1 Evaluation index of organic carbon abundance of carbonate source rocks

分级 演化阶段 C_{OTg} %	非	差	较好	好
	过熟演化阶段	<0.1	0.1—0.15	0.15—0.2
未熟—低熟阶段	<0.15	0.15—0.25	0.25—0.35	≥0.35

根据以上分析,笔者认为,如果要求“能生能排、能运能聚”,平均有机碳达到 0.15% (过熟)即可;如果还要求能够形成大规模聚集,则中部气田的样品分析结果— C_{OTg} 0.2% (过熟)可作为例证;如果在以后的盆地西部下奥陶统勘探中有进一步发现,则可认定 0.15%为工业聚集能力的划分标准。就目前的认识,笔者提出的划分标准如表 1。

需要指出的是,有机质数量并不是决定碳酸盐源岩生、排烃能力的唯一要素,成烃能力也不可忽视。尽管早古生代碳酸盐源岩有机质的生源均为藻类等低等生物,但成烃能力却未必相同。因此,对不同沉积条件下的岩石来说,规定不同的丰度指标界线可能更为合适,此点将在下节给予讨论。

2 隐藻和钙藻碳酸盐的比较,及碳酸盐岩有机质丰度、性质的主要影响因素

2.1 两大沉积体系五种相环境源岩比较

陕甘宁盆地地处华北地台内缘。奥陶系沉积时期,受南北向“L”字形中央古隆起的分隔,盆地中段分属两个海域,形成两种不同的沉积类型(图 2),西部祁连海域,以台地边缘和盆地沉积为主。其中,下奥陶统下部为潮坪相云岩;中上部浅海相灰岩(后期曾遭受淡水云化作用),富含钙藻(红藻、孔层藻,见图版 I-3);顶部过渡为深水斜坡相泥灰岩。中奥陶统于灰岩中夹深盆相笔石页岩、深水坡相砂质灰岩、砂岩。东部属华北海域,由于吕梁陆岛⁽⁷⁾分隔,整个可视为一种间歇封闭的潮坪—盐湖沉积体系。盐湖中心位于陕北米脂一带,盐层厚约 150—200 m。目前残留沉积主要是奥陶系下统马家沟组,岩性呈盐层、云岩、灰云岩或灰岩往复交替。气田位于中央隆起东侧的盐湖滨岸相带。气源岩主要是一套灰—深灰、灰黑色泥粉晶云岩和致密灰岩。区别于西部下奥陶统中上部灰岩的主要生物特征是含隐藻,而其大化石极其稀少,并常见凝块石、层纹结构(图版 I-4, 5, 6)。隐藻(钙藻、隐藻均属岩石学命名)属蓝藻门,除孔层藻外,形态不可辨,故又称非骨骼钙藻⁽⁵⁾。也就是说,其藻体的任何部件,包括壳壁在内均为有机质。因而不难想象其形态结构不能被保存。为方便叙述,本文将东部碳酸盐简称为“隐藻碳酸盐”,西部下奥陶统中上部灰岩简称为“钙藻碳酸盐”。

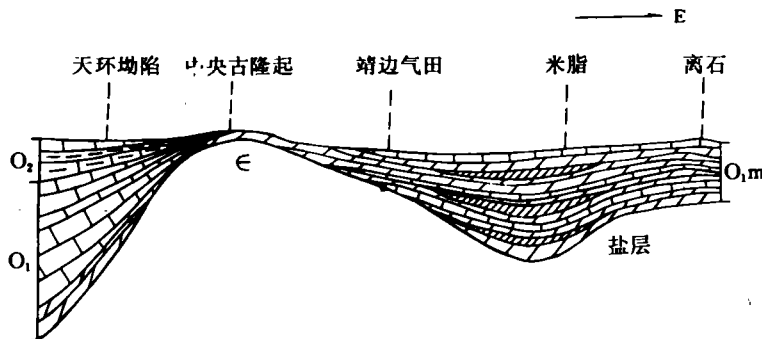


图 2 陕甘宁盆地奥陶系残留沉积东西向剖面示意图

Fig. 2 The sedimental section of the Ordovician, Shan-Gan-Ning basin

两大沉积体系、五种典型相环境的源岩地球化学指标对比如表 5。表中可见,这五种源岩的有机质丰度、原始生烃能力(恢复方法在文后叙述)及还原性大体可分为四个层次:深盆相黑色页岩—深水坡相泥灰岩—隐藻碳酸盐—钙藻碳酸盐。本文着重对隐藻与钙藻碳酸盐进行对比,可看出:

(1) 隐藻碳酸盐的有机质丰度(C_{OTg} 平均为 0.25%和 0.21%)高于钙藻碳酸盐(C_{OTg} 平均为 0.13%)。隐藻碳酸盐中云岩的丰度水平与灰岩总体上相差不大,但分布范围宽、并有少数丰度偏高的岩石。

(2) 隐藻碳酸盐的原始成烃能力平均水平高于钙藻碳酸盐(前者原始氢指数为 260 和 228,后者 166)。

表 2 五种相环境源岩的地球化学对比

Table 2 Geochemical comparison of five kinds of carbonate source rocks

分区位置	沉积相	岩性	成岩作用	层位	C_{OTg} (%)	IH 原始 (平均)	$S^=$ (%)	主要生物化石
盆地中、东部	蒸发湖坪相	云岩、泥云岩		$O_{1ms,3}$	$\frac{0.04-2.11}{0.25}$ 244	260	$\frac{0.04-5.87}{0.37}$ 178	隐藻类(蓝藻、绿藻、介形类、疑源类、牙形刺)
	局限海浅水陆棚	泥晶灰岩为主	云斑化	$O_{1m,2}$	$\frac{0.07-0.35}{0.21}$ 61	228	$\frac{0.08-0.45}{0.15}$ 37	同上
盆地西部	盆地边缘相	笔石页岩		O_2	$\frac{0.49-1.20}{0.82}$ 13	504	$\frac{0.32-0.44}{0.38}$ 3	笔石、疑源类、牙形刺
	深水斜坡相	泥灰岩、泥晶灰岩		O_2 O_{1k}	$\frac{0.09-0.82}{0.31}$ 92	321	$\frac{0.06-0.46}{0.22}$ 46	笔石、牙形刺、放射虫、钙球、蓝藻、疑源类
	开阔浅海相	颗粒泥晶灰岩	淡水云化	O_1	$\frac{0.07-0.35}{0.13}$ 124	166	$\frac{0.04-0.77}{0.12}$ 55	钙藻类(红藻为主)、头足类、牙形刺

a) 范围均值 样数 b) 表中岩石矿物、古生物资料由杨奕华、袁效其提供。

(3) 两大沉积体系中,泥质(以酸不溶物表示。经鉴定泥质是其中的主体成分)、还原硫对丰度的影响有不同表现(图 3)。

西部开放体系,以含钙藻的灰岩发育为特征,有机碳含量与泥质、还原硫呈正向消长关系。一般来说,碳酸盐有机碳“无泥则不高”。

东部封闭—一半封闭体系,以含隐藻的云岩、灰岩发育为特征,有机碳含量与泥质、还原硫关系不密切(图中斜率小)。

分析上述差异产生的原因主要有以下几点:

(1) 生物相差异:隐藻遗体为全有机质,无化石保存;钙藻具钙质壳壁,造岩性能好,但有机体含有率未必高。此外,那些西部丰度高的泥灰岩、页岩中生物也多属浮游生物及“具有有机质壳壁”的低等生物(如疑源类)。这就说明,对形成烃源岩来讲,具有有机壳壁或全有机质生物会优于那些具无机壳壁的造岩生物。

(2) 还原条件的不同:东部封闭体系水动力条件总体偏弱。研究已证明,隐藻主要出现于低能的潮间带和浅潮下带⁽⁵⁾。更主要的是,蒸发盐环境下海水盐度升高将阻止溶氧进入,

从而减轻海底沉积有机质的氧化损失。西部下奥陶统灰岩沉积于开阔浅海环境,正常海水盐度,溶氧较多。这里的底栖藻类同样比较繁盛,而且形态完好。按照 Degens(1984)提出的“温跃层”概念^①,底栖藻类的繁盛与保存形态完好可能反映这里从水面直至海底透光性较好,且未到达强还原界面之下。同处西部的中奥陶统页岩、下奥陶统顶部泥灰岩,其中所含化石主要属浮游生物,由于沉积水体较深,死亡后可能会落入具强还原条件的海底。

西部,开放体系,钙藻碳酸盐及含浮游生物、聚源类的泥质碳酸盐和页岩

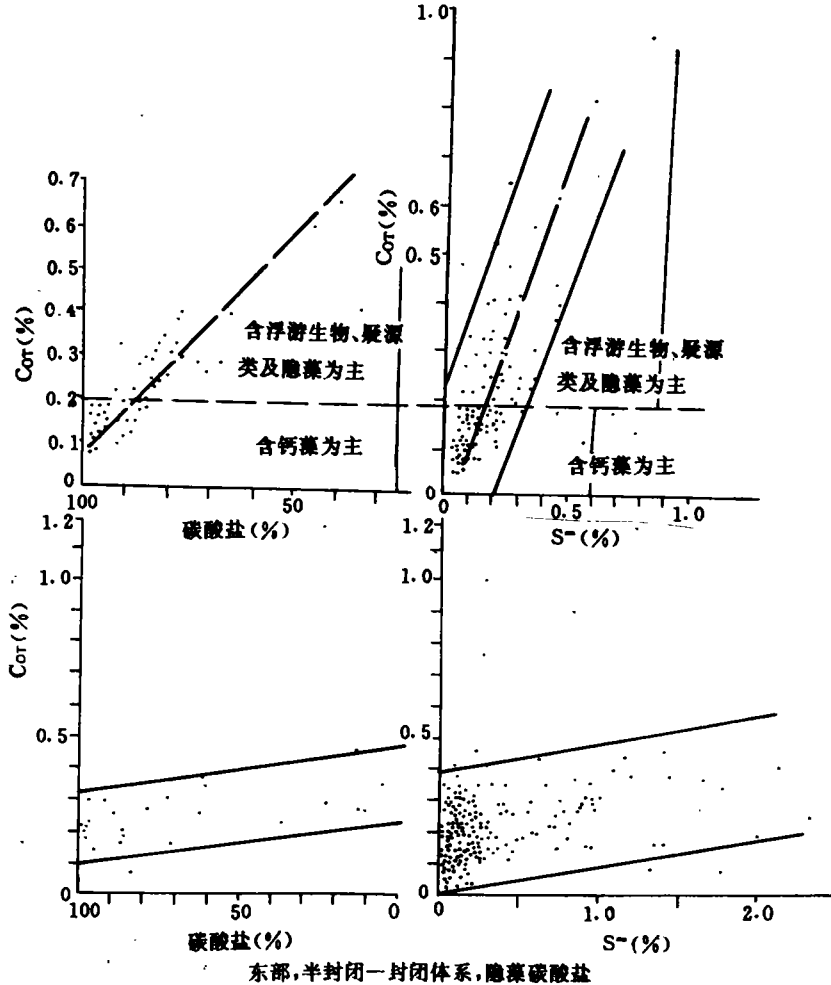


图3 两大沉积体系含钙藻及含隐藻碳酸盐的比较

Fig. 3 Comparison of organic carbon content vs. acid-insoluble material content and organic carbon content vs. reductive sulfur content in calcareous alga carbonates and cryptalgal carbonates

据统计,近代粘土和碳酸盐的有机质丰度均为1%左右,两者相差不大。而古代碳酸盐却仅为古代页岩的1/5。傅家谟等(1977)曾对两者的丰度差异提出各种可能的解释^②。作

① 北京石油勘探开发研究院, Degens 来华讲学资料

者认为，从五种环境的源岩丰度对比及其原因分析中可能会得出这样的结论，即生物死亡有机质产率低及沉积、浅埋阶段的氧化损耗是碳酸盐有机质丰度低的最直接原因。

泥质对有机质保存的吸附固定作用应予肯定，但两者之间通常不存在确定关系。在陕甘宁盆地，中奥陶统上部的灰绿色页岩、中寒武统杂色页岩有机碳一般低于0.3%，盆地中、东部奥陶系碳酸盐中有机碳与泥质含量的不够密切也提供了证明。而盆地西部出现的有机碳—泥质关系密切性的根本原因在于泥质与沉积水深，即氧化-还原程度取得了一致。也就是说，页岩有机碳高，是因为其死亡生物沉积埋藏于强还原的深海海底，残存率高；东部隐藻碳酸盐有机质丰度较高，是因为其死亡生物沉积埋藏于尽管水体较浅、但溶氧也低的高盐度底水部位，残存率较高；钙藻碳酸盐有机质丰度低，是因为其生物生存并埋藏于透气、透光的海底，残存率较低。这三者在表生沉积作用阶段的原始丰度现已无法推测，但预计不如现在所反映的差别大。

晶析作用大概也不是碳酸盐岩丰度低的直接原因，因为这一作用不能将有机质排斥于地质体之外。但是，某些后生成岩作用，特别是地表淡水下渗参与下的“灰岩云化作用”、“去云化灰质交代作用”则可能由于溶氧的加入导致丰度降低。

综上所述，作者认为决定早古生代碳酸盐有机质丰度的三要素是：营养成分、水动力；生物繁盛程度；表生沉积以至浅埋阶段的氧化-还原电位。其中，生物繁盛取决于营养成分和古水动力；氧化-还原电位受水深、盐度及生物发育（大量的生物遗体堆积将促进底层缺氧）和海洋紊流混合作用控制。岩石有机质丰度主要取决于死亡生物体的丰度及氧化-还原电位，也可以表示为岩石有机质丰度 = 死亡生物体丰度 × 残存率%。

尽管死亡生物丰度和残存率这两项参数均属于未知数，但是，这一表示方式将可能在认识早古生代碳酸盐岩石的有机质丰度、性质、成烃能力差异方面起一定作用。

根据原始生物发育、还原性在决定碳酸盐岩石有机质丰度中起主要作用的认识，作者认为深海、深水斜坡，水盐度适量超常的半封闭海湾、封闭的泻湖以至萨布哈环境（盐湖沉积中，其相对淡化期和边缘相带较为优越）将利于丰度较高的源岩形成。远大陆的开阔浅海、清水碳酸盐沉积可能形成丰度偏低的源岩。强水动力条件下的礁、滩只能造就储集层，在其前后两侧可能发育好的烃源层。

2.2 早古生代碳酸盐有机质也具有不同的成烃能力，氧化改造作用降低了部分碳酸盐有机质的成烃能力

众所周知，早古生代未出现高等植物。看来，有机质性质偏腐泥、有机质成烃能力高

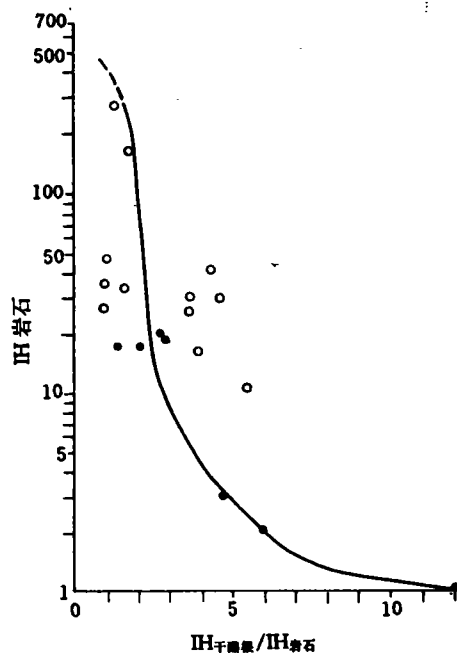


图4 碳酸盐样品的HI（氢指数）
— $HI_{\text{干酪根}}/HI_{\text{岩石}}$ 关系图

Fig. 4 Relationship of HI (hydrogen index) vs. ratio of HI_{kerogen} to HI_{rock} in carbonate samples

等认识趋向统一已是毫无疑问的了。但事实并非如此。

为比较高成熟—过成熟源岩的原始生烃潜力，这里用“两步法”恢复原始氢指数。

第一步：按邬立言（1986）制作的“碳酸盐有机质成烃热演化分数图版”恢复原始生烃潜量 $S_0^{(6)}$ 。

第二步：为消除碳酸盐矿物基质影响，采用氢指数与干酪根测定的氢指数相对岩石测定的氢指数倍数关系图版进行校正。

吴大华（1986）等发现，由于碳酸盐特殊的岩石结构，导致 550℃ 温度下的实测 S_2 偏低，并使计算氢指数偏低（某些有机质存在于碳酸盐晶系中未能释放）。作者发现，其偏低倍数与氢指数大小成反比（图 4）（与成熟度关系不密切）。

表 2 中原始氢指数就是用上述恢复加校正的方法求得的。表 3 列出部分井样品的平均计算结果。结果中包括计算产生的 S_0 （恢复）、 S_0' （恢复加校正）、 S_2' （校正）、 $S_2'+S_1+S_{排}$ （注：排烃量）、 $C_{原}$ （注：原始有机碳）、 $IH_{(原始)}$ 、排烃效率八项参数。应当说，高成熟的碳酸盐有机质产烃能力的恢复是一项尚未解决的难题。本计算仅仅是一种尝试。

计算资料表明，碳酸盐原始有机碳一般为 0.2%—0.5%，原始产烃潜量一般为 0.3—1.1 mg/g_{岩石}，其总体水平比页岩、钙质泥岩显著偏低（表 3）。

氢指数是反映单位重量有机质成烃能力的指标。该盆地奥陶系碳酸盐岩原始氢指数一般为 100—400，可分为三个档次—90—150、150—250、250—400，三者约各占 1/3，并分别相当 III 型、I₂ 型、I₁ 型有机质的成烃能力。总数的平均值在 250 左右，在沉积有机质中处于中等水平。

我们将如何认识上述“生源构成一致而产烃能力各并”的现象？又如何去评价并认识“低丰度碳酸盐具中等产烃能力”这一重要特点？

一些现象说明，处于同一沉积体系下的有机质性质、产烃能力往往和丰度表现出正相关。已证明陆相生油岩、煤系是如此，碳酸盐可能也不例外。从表 1 中资料已经看出原始氢指数与有机碳的宏观相关现象。成烃热模拟试验说明，岩石有机质的最终产烃能力与丰度正相关（ C_{or} 0.59% 的泥灰岩最终产甲烷 610 m³/t_{原始碳}； C_{or} 0.23% 的云岩最终产甲烷 484 m³/t_{原始碳}）。

再从反映产烃性质的干酪根 H/C 比指标看，它与有机碳及岩石还原性存在相关性。如任 3 井中奥陶统页岩干酪根 H/C 为 0.92，相邻灰岩为 0.54—0.62；再如环 14 井奥陶系泥灰岩干酪根 H/C 为 1.41，相邻灰岩的为 0.9—1.11（平均 0.98），而显示弱氧化环境的浅灰褐色灰岩干酪根 H/C 为 0.83，绿灰色泥岩的已降为 0.69。以上这些成熟相同的奥陶系岩样对比资料说明，还有另一种因素——氧化作用在改变原始有机物的性质。

尽管生源一致，但是沉积—成岩期间有机质氧化丢失的程度（即残存率）不同，可以引起有机质性质及成烃能力的变化。氧化，不仅使有机质遭受数量损失，同时使残留部分改变其原有的类脂特征（脂肪链烃易于氧化流失），降低含氢并增加含氧，从而向成烃能力低的方向转化。所以，丰度高的岩石常常因为它们残存比高的一类，原始面貌改变小，因而性质好、产烃能力高。相反，丰度低的岩石往往由于氧化改造作用强，因而性质和产烃能力均有所降低。从这一点出发，我们将理解并接受“腐泥型生源、腐殖型能力”、“低丰度碳酸盐一般具中等产烃能力”、“氧化腐泥型相当腐殖型”、“再沉积有机质可能属死碳型有机质”这样一些反常的复杂现象。同样，对低丰度碳酸盐评价也不宜一概而论或用一把

尺子去量，应结合其原始性质和成烃能力。对早古生代碳酸盐而言，一种简单的办法是根据岩石的氧化-还原色而定。如巴彦浩特盆地奥陶系杂色角砾灰岩及紫色、浅灰色灰岩尽管其平均有机碳达到 0.33%，但是否具排烃能力值得怀疑。

表 3 陕甘宁盆地奥陶系碳酸盐岩原始生烃潜量等参数计算值表

Table 3 Calculated parameters, such as original potentials etc., of carbonates in the Shan-Gan-Ning basin by means of restoration and correction

井名	岩性	实 测				计 算								样 数
		Cor %	T _{max} (°C)	S ₁ (mg/g)	S ₂ (mg/g)	S ₀ (mg/g)	S' ₀ (mg/g)	S' ₂ (mg/g)	S' ₂ +S ₁ (mg/g)	S _潜 (mg/g)	C _原 (%)	IH ₀	排烃效 率(%)	
环 14	钙质泥岩	0.65	445	0.675	1.6	4.80	2.88	3.56	1.245	0.85	0.85	568	65	2
	灰岩	0.15	442	0.038	0.041	0.073	0.164	0.096	0.1344	0.03	0.16	103	44	10
任 6	钙质泥岩	0.83	443	0.32	0.84	2.352	4.234	1.008	1.328	2.906	1.0	423	90	1
	灰岩	0.23	444	0.05	0.13	0.2444	0.5377	0.286	0.336	0.2017	0.25	215	80	1
任 3	页岩	1.20	448	1.07	2.04	9.384	9.384	2.04	3.11	6.274	1.80	521	85	1
	灰岩	0.20	473	0.043	0.065	0.2275	0.5005	0.1495	0.1925	0.308	0.24	209	88	6
辉参 1	页岩	0.22	534	0.053	0.0525	0.315	0.693	0.126	0.179	0.514	0.31	225	91	12
	云岩	0.18	516	0.044	0.0285	0.1482	0.3260	0.071	0.1153	0.2107	0.25	129	83	13
庆深 1	云岩	0.24	558	0.04	0.0138	0.1518	0.3491	0.0483	0.0883	0.2608	0.36	97	87	8
	云岩	0.29	536	0.139	0.103	1.0506	1.8911	0.2309	0.3759	1.5152	0.42	449	92	15
米 1	灰岩	0.25	521	0.065	0.075	0.525	1.1025	0.1763	0.2413	0.8613	0.35	315	93	19
	云岩	0.30	528	0.085	0.038	0.3572	0.7858	0.0988	0.1838	0.602	0.44	131	88	10
陕 15	云岩	0.16	525	0.09	0.056	0.3024	0.6350	0.1288	0.2188	0.4162	0.23	274	82	5
召探 1	云岩	0.17	511	0.065	0.04	0.192	0.4224	0.096	0.161	0.2614	0.24	177	90	13
	灰岩	0.28	498	0.063	0.047	0.1974	0.4343	0.1175	0.1805	0.2538	0.39	111	80	3
富探 1	云岩	0.19	514	0.08	0.065	0.325	0.6825	0.1495	0.2295	0.453	0.27	256	85	20
	灰岩	0.18	521	0.067	0.064	0.3456	0.7258	0.1472	0.2142	0.5116	0.26	278	88	7

2.3 碳酸盐源岩排烃量及排烃效率问题讨论

从表 3 可见，碳酸盐源岩的排烃量一般为 0.2—0.9 kg_烃/t_{岩石}，平均约 0.5 kg_烃/t_{岩石}。与陆相生油岩相比属中下水平，但相对总有机质数量而言，具高效特征。表中可见，成熟阶段的碳酸盐岩(包括页岩，这里的页岩一般含钙质)排烃率(S_潜/S_潜+S₁)一般为 45%—85%；过成熟阶段的碳酸盐岩则普遍为 80%—90%。而陆相泥质岩的初次运移效率一般为 10%—30%^[6]。这种高效排烃特征可能也是碳酸盐特殊岩石结构带来的结果。

致谢 本文在涉及沉积相、成岩作用、古生物、荧光薄片研究方面曾得到长庆局研究院杨奕华、袁效其、奕琴、张吉森等同志的帮助，吸收了他们的有益认识。同时，得到地化组有关分析岗位的支持，在此一并致谢！

参 考 文 献

- [1] 陈安定. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系天然气的成因和运移. 石油学报, 1994, (2): 1—7.
- [2] 傅家膜, 史继扬. 石油演化理论与实践(Ⅰ)——石油演化的实践模型和石油演化的实践意义. 地球化学, 1977, (2): 87—104.

- [3] 傅家膜等. 碳酸岩有机地球化学. 北京: 科学出版社, 1989.
- [4] 郝石生等. 华北北部中—上元古界石油地质学. 石油大学出版社, 1990.
- [5] 晋慧娟. 陕甘宁盆地奥陶系碳酸盐岩中的藻类及指相意义. 中国科学院兰州地质所集刊, 北京: 科学出版社, 1981, 1: 161—170.
- [6] 邬立言等. 生油岩热解快速定量评价. 北京: 科学出版社, 1989.
- [7] 王英华, 张秀莲, 杨承运等. 华北地台早古生代碳酸盐岩岩砾. 北京: 地震出版社, 1988.

Carbonate Source-Rocks of the Ordovician in Shan-Gan-Ning Basin and Discussion on the Hydrocarbon Generation of Carbonates

Chen Anding

(Institute of Geological Science, Jiangsu Petroleum Exploration Bureau, Jiangdu, Jiangsu 225261)

Abstract

The carbonate source-rocks of the Ordovician are relatively poor in organic matter (C_{org} 0.24%). According to the result on gas/source-rock correlation, it could be suggested that the carbonates with mean over 0.2% organic carbon content at stage of over maturity should be able to form largescale oil-gas accumulation. Furthermore, this paper proposed in the carbonates with mean over 0.15% organic carbon content the expulsion, migration and accumulation of hydrocarbons can happen based on fluorescence thin-section observation.

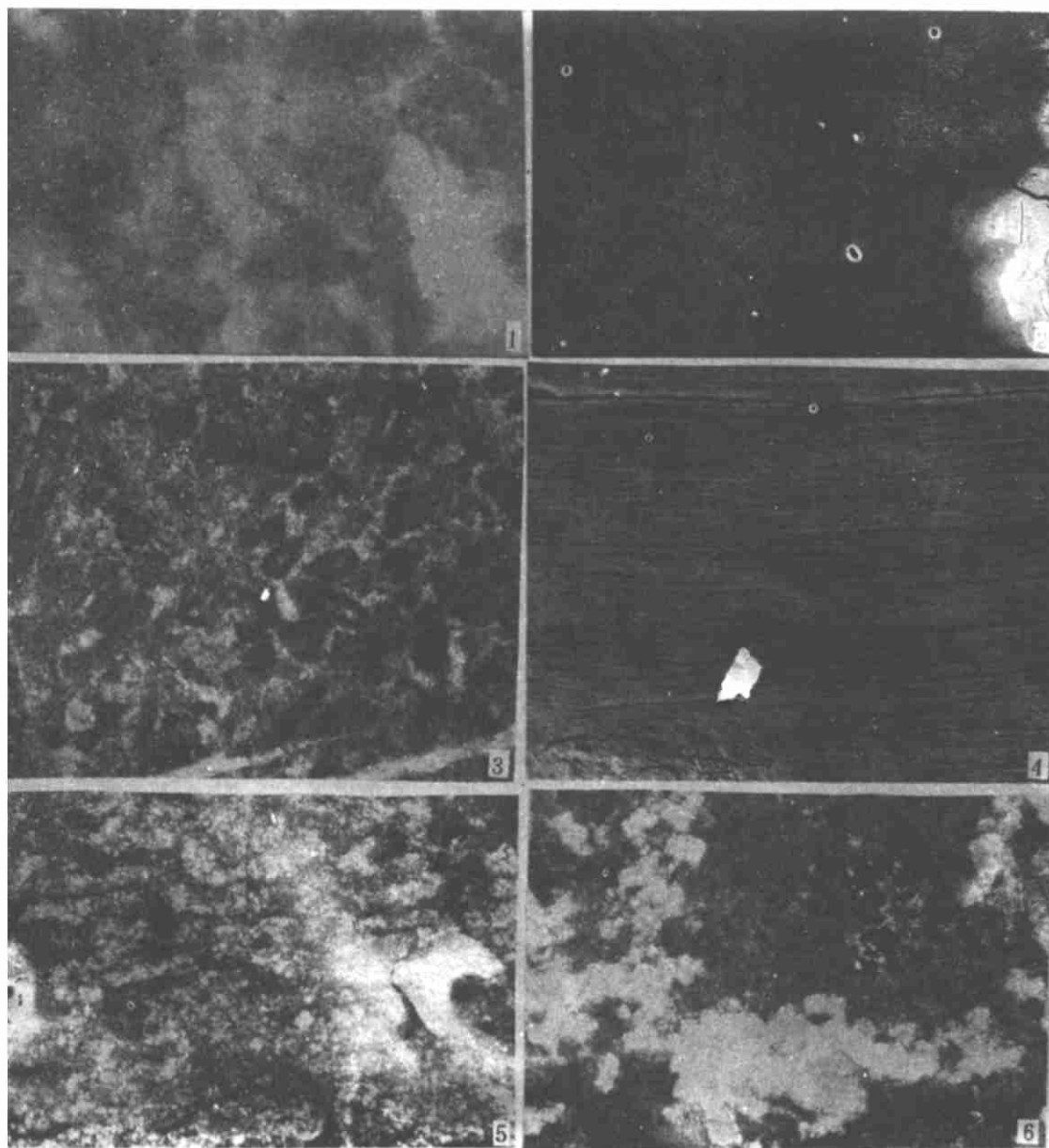
The paper had listed the carbonate source-rocks from five kinds of sedimentary environments which have the different content of organic matter and original potential of hydrocarbon generation, and put stress on the comparison of calcareous alga-bearing carbonates with cryptalgal-bearing carbonates as well. The Cryptalgal-bearing carbonates are main source-rocks of natural gases in the central gas-field. Finally this paper suggested following views:

(1) The carbonates, rich in non-skeleton algae or other organic-shell living bodies, are good source rocks.

(2) The content of organic matter in carbonates mainly depends on the oxidation-reduction condition of deposition, shallow burial and the content of mudstone.

(3) The oxidation-reduction condition also influences original properties of kerogen. In reduction system there is a high residual ratio to bio-remains, and original lipid properties of kerogen could be protected because oxidization not only reduces the content of organic matter, but also damages lipid properties of primary kerogen and decrease the potential of the kero-gens. Although almost all kerogen in the Early Palaeozoic period originated from precursors such as algae, plankton and palaeo-bacteria etc., they may have different potential. Based on analysis and calculation, generally, the carbonate with lower organic carbon content was merely medium potential ($IH_0 = 250^{\pm}$) of hydrocarbons generation, however, it might have high efficiency of expulsion of hydrocarbons.

Key words: carbonate source rocks organic abundance Shan-Gan-Ning basin evaluation of carbonate source rocks.



图版说明 1-1 陕11井, 3139-12 m, O_1m , 该样品位于产气段内, 次生方解石晶隙普遍发绿黄色荧光, 反映了油气的次生储集 1-2 陕参1井, 3665.5 m, O_1m , (同生)角砾云岩, 发褐黑色荧光部分为角砾中藻凝块石, 即生烃干酪根, 角砾外基质发黄绿色弱荧光(又称结构沥青“C”), 反映了烃的生成与扩散的近邻关系。 1-3 环14井, 2264 m, O_1m , 钙藻(孔层藻、葛万藻)灰岩 1-4 山西兴县剖面, 具藻纹层结构的碳酸盐岩, O_1m 1-5 榆9井, 2331.8—2331.94 m, O_1m , 含藻藻并具波状纹层结构(棕褐色部分)的白云岩。 1-6 陕参1井, 3511 m, O_1m , 含膏(红、蓝色)云岩中富含藻类并呈均匀斑状结构(褐黑色)。