

地层干酪根有机酸与储层次生孔隙的关系

朱抱荃 程中第 应凤祥

(北京石油勘探开发科学研究院实验中心, 100083)

本文论述了干酪根有机酸在成岩演化和储层次生孔隙研究中的价值。认为与干酪根有机酸有成因关系的次生孔隙,是干酪根累积已产酸与矿物作用的结果;同时提出用地层干酪根有机酸的残酸相对总产量(用单位重量干酪根残酸产量,地层有机酸含量,地层厚度3要素之积表示)及其 Σ 二元酸/ Σ 单元酸比值(简称 Σ 双/ Σ 单)预测储层次生孔隙发育层段的新思路。

关键词 干酪根 累积产酸量 残余产酸量 地层有机酸相对总产量 Σ 二元酸/ Σ 单元酸 地层有机酸溶蚀矿物的能力

第一作者简介 朱抱荃 男 54岁 高级工程师 有机地球化学

干酪根有机酸在烃源岩—储集岩成岩体系研究中的重要性,已被越来越多的人所认识。这可从梅博文、杨文宽等(1991)翻译的文集《储层地球化学》以及10多年来国内外有关文献中清楚看出。烃源岩—储集岩成岩体系中,干酪根有机酸是联系生、储关系的纽带,也是有机-无机反应的主体之一。考察干酪根有机酸在成岩演化过程中随成熟度的变化,对于预测储集岩次生孔隙发育程度来说,是项不可缺少的任务。因而,干酪根有机酸的测定是件十分重要的工作。

程中第、应凤祥(1995)在前人工作基础上建立了较完善的有机酸测定法,他们用该法获得的干酪根降解液和油田水的有机酸数据,早已多次用于储层研究(薛叔浩等,1991;薛叔浩等,1991;徐龙,1990;徐龙等,1992)。本文的干酪根有机酸数据都是用该法获得的。根据干酪根水热降解液的有机酸测定值,计算干酪根的有机酸产量,即干酪根有机酸浓度(mg/g)。一些研究者直接采用此类数据探讨干酪根有机酸的变化与次生孔隙的关系。

然而,仔细分析一下,可以发现,直接依据干酪根有机酸浓度寻找次生孔隙方面信息时,有两点被忽视了。首先,与有机酸有成因关系的次生孔隙,是有机酸溶蚀矿物的结果,而这部分有机酸(累积已产出的酸)目前已散失或转移到油田水中。实验获得的干酪根有机酸,实际上未对次生孔隙的形成作出贡献,它仅代表干酪根的残余产酸能力,因而应称为干酪根残余有机酸较妥。在进行有机酸与次生孔隙关系研究时,能否用干酪根残余酸产量代替累积已产酸量,是个不应忽视的问题。第二,储集层次生孔隙的发育程度及分布范围,不仅与单位重量干酪根的有机酸产量有关,还与地层有机酸总产量有关。

针对上述两点,本文进行了推理性初步探讨。笔者认为,干酪根累积产酸量与残余产酸量的比值(即累酸量/残酸量)随成熟度增加而增大。成熟度相近的样品,累酸量/残酸量比值相近。因此,预测地层纵向剖面的次生孔隙发育段时,应着眼于成熟地层中,即地层干酪根残酸产量高的层段附近的储集层。关于地层干酪根有机酸总产量,可用单位重量干酪根有机酸产量,地层有机碳含量,地层厚度三者之积相对表示。

1 干酪根有机酸^①浓度在成岩演化过程中的变化

1.1 干酪根有机酸浓度与干酪根其它含氧参数的内在联系

多年来,国内外许多学者的研究结果表明,干酪根中的氧原子以含氧基团形式存在。随埋藏加深发生的干酪根脱氧过程,即为干酪根含氧基团减少的过程。于是,干酪根的 O/C 原子比和 $1710\text{cm}^{-1}/1460\text{cm}^{-1}$ 都呈现随埋藏加深而降低的总趋势(表 1)。干酪根有机酸浓度与上述两者的变化趋势相吻合(表 1),恰恰说明干酪根所产生的有机酸是含氧基团的降解产物。因而,干酪根有机酸浓度一般随干酪根含氧量的高低而增减。

表 1 酒东、南堡、泌阳三地区各成岩阶段干酪根有机酸量
与 $1710\text{cm}^{-1}/1460\text{cm}^{-1}$ (含氧基团红外光谱特征)及 O/C 原子比

成岩晚期 有机质 成熟阶段	酒东盆地营参一井				南堡凹陷北堡地区				泌阳凹陷双河地区		
	深度 (m)	干酪根			深度 (m)	干酪根			深度 (m)	干酪根	
		有机酸 浓度 (mg/g)	$\frac{1710\text{cm}^{-1}}{1460\text{cm}^{-1}}$	O/C 原子比		有机酸 浓度 (mg/g)	$\frac{1710\text{cm}^{-1}}{1460\text{cm}^{-1}}$	O/C 原子比		有机酸 浓度 (mg/g)	O/C 原子比
低成熟(A ₁)	2800	105~40	5.0~1.5	0.15~0.07	2900	210~30	2.1~1.2	0.22~0.1	1500	60~30	0.16~0.06
成熟(A ₂)		90~20	0.6~0	0.06~0.03		110~25	1.4~0.6	0.13~0.04		34~24	0.07~0.04
高成熟(B)	4200	20	1.1~0	0.06~0.02	4000	15~5					

1.2 干酪根有机酸浓度受有机质类型和成熟度两因素控制

众所周知,在干酪根演化各阶段,干酪根元素组成及其演化产物都在变化。从范氏干酪根 H/C 与 O/C 原子比图上可清楚看出 3 点。(1)干酪根的 H/C 和 O/C 原子比随成熟度的增加而降低。即随着成熟度的增加,H、O 含量降低,C 含量增加;(2)H/C 与 O/C 曲线斜率变化表明,演化早期 O/C 下降程度比成熟的晚期大,即早期干酪根脱氧较多;(3)干酪根显著脱氧阶段(早期),脱氧量按 I、II、III 类型顺序增加。干酪根演化过程脱出的氧,除以 CO₂ 和 H₂O 形式放出外,主要以有机酸形式放出,另外,有相当一部分 CO₂ 和 H₂O 也是有机酸进一步分解的产物。

综上所述,干酪根类型和成熟度是决定干酪根有机酸浓度的两个重要因素。简要地讲,在成熟度及其它条件相同的情况下,干酪根有机酸浓度按 I、II、III 类型顺序增加。在干酪根类型及其它条件(不包括成熟度)相同的情况下,干酪根有机酸浓度随成熟度增加而减少,即高成熟度干酪根比低成熟度干酪根的有机酸产量低。

实际研究中,由于过渡类型干酪根比典型类型干酪根多得多,因而在考察干酪根有机酸浓度时,往往成熟度是比类型更重要的因素。

① 干酪根有机酸指 C₁~C₆ 单元酸与 C₂~C₆ 二元酸之总和

1.3 地层纵向剖面系列样品干酪根有机酸浓度的变化特征,可作为了解有机质演化和成岩阶段划分的参考信息^①

酒东盆地、南堡凹陷以及泌阳凹陷干酪根有机酸浓度随埋深增加而降低的总趋势(表1)表明,成熟度(埋深)是控制干酪根有机酸浓度的主导因素。详细考察有机酸变化特征,不难发现,从成岩晚期的有机质低成熟度阶段(A₁)至成熟阶段(A₂),有机酸浓度呈现明显突变趋势。即在A₁与A₂的界线附近,有机酸浓度陡然跌落。酒东盆地营参一井和南堡凹陷北堡地区有机酸突变区的跌落范围为30~60mg/g,泌阳凹陷双河地区跌落范围为28~36mg/g(表2)。1710cm⁻¹/1460cm⁻¹和O/C两参数在A₁与A₂界线附近,除营参一井外,不存在突变现象。尽管干酪根有机酸浓度的上述变化特征尚有待进一步研究,但其在了解有机质演化和成岩阶段划分方面仍有一定参考价值。

表2 酒东、南堡、泌阳三地区成岩晚期有机质低成熟阶段(A₁)与成熟阶段(A₂)界线处干酪根有机酸等参数的数值范围

成岩晚期	酒东盆地营参一井				南堡凹陷北堡地区				泌阳凹陷双河地区		
	深度 (m)	干酪根			深度 (m)	干酪根			深度 (m)	干酪根	
		有机酸 浓度 (mg/g)	$\frac{1710\text{cm}^{-1}}{1460\text{cm}^{-1}}$	O/C 原子比		有机酸 浓度 (mg/g)	$\frac{1710\text{cm}^{-1}}{1460\text{cm}^{-1}}$	O/C 原子比		有机酸 浓度 (mg/g)	O/C 原子比
有机质低成熟(A ₁)与成熟阶段(A ₂)界线	2800	60~30 突	1.4~0.6 突	0.05~0.07 突	2900	60~30 突	1.6~1.1 缓	0.14~0.1 缓	1500	36~28 突	0.09~0.07 缓

表中“突”表示数值突变,“缓”表示数值缓变

2 地层干酪根有机酸产量Σ双元酸/Σ单元酸与储层次生孔隙的关系

2.1 将干酪根有机酸应用于次生孔隙研究是烃储层学科发展的必然趋势

20多年前,人们在油气勘探研究中,往往分别孤立地研究烃源岩和油气储集层。即一方面从有机物角度寻找沉积有机质含量丰富、类型好、成熟度适当的岩层,因为这类岩石很可能是生成油气的源岩。另一方面从无机矿物角度寻找具备储集油气条件的岩层,即寻找孔渗性能好的储集岩。同一地区烃源岩与储集岩的共存,往往是形成油气藏的先决条件。

但随着研究的逐步深入,越来越多的人认识到,烃源岩与储集岩不仅存在空间上的配置关系,还有机制上的联系。这便是烃源岩有机质衍生的有机酸及酚类物质通过水介质与邻近储集岩无机矿物的反应,能导致储层孔渗性能的改善。该认识已被国内外许多研究者的地质观察和人工模拟实验所证实。

沉积岩中占沉积有机质绝大部分的是干酪根,因而干酪根是沉积岩产生有机酸的主要

① 碎屑岩成岩阶段划分规范,参见应凤祥,1993

母质。探讨烃源岩与储集岩关系时,应着重考察干酪根产生有机酸的能力。

2.2 次生孔隙与干酪根累积已产酸量以及残余产酸量的逻辑关系

与干酪根有机酸有成因关系的次生孔隙,是干酪根累积已产酸与矿物作用的结果。累积产酸量大,则次生孔隙发育程度必然好。然而由于溶蚀矿物的有机酸在漫长的地质年代中早已散失,因而无法依据干酪根累积产酸量探求次生孔隙信息。现今能获得的有机酸方面的信息,只有表示干酪根残余产酸能力的残余产酸量。研究残余产酸量与次生孔隙的关系,应该先从残余产酸量与累积产酸量关系上入手。即根据残余产酸量、累积产酸量与次生孔隙理论上的逻辑关系,推导出残余酸量与次生孔隙之间的表征关系。

干酪根热演化过程中,累积产酸量逐渐增加,残余产酸量逐渐减少。如果地层纵向剖面中干酪根样品有机质类型相同,相应岩层的其它因素相近,那么不同成熟度样品,其累积产酸量与残余产酸量之和,应当大致相等。干酪根总产酸量、累积产酸量和残余产酸量三者与成熟度的关系可用图1示意说明。

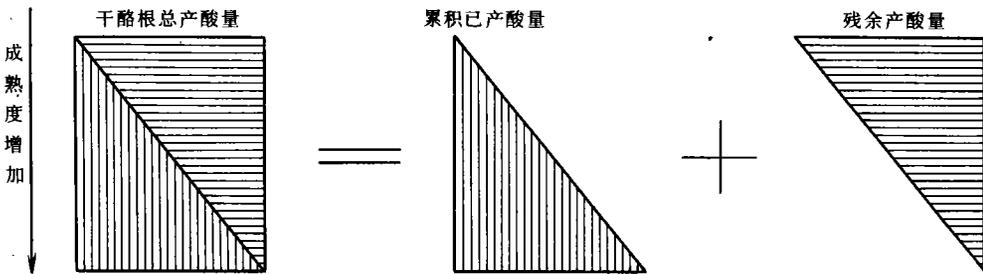


图1 干酪根总产酸量、累积已产酸量和残余产酸量三者与成熟度关系

能否根据干酪根残余产酸量获得累积产酸量方面的信息,是了解与有机酸有成因关系次生孔隙发育程度的关键。

2.3 以南堡凹陷北6井为例,说明干酪根残余产酸量与累积产酸量的关系

在北6井实际热演化剖面中,虽然干酪根残余产酸量由浅至深大致符合图1的下降总趋势,但11个样品中有3个样品明显例外(表3中的1、6、9号样品)。目前暂不探求残酸量数值偏离总趋势的原因,只根据例外样品附近储层孔隙发育情况,油层分布,推导干酪根残酸量与累积已产酸量在数量上的关系。

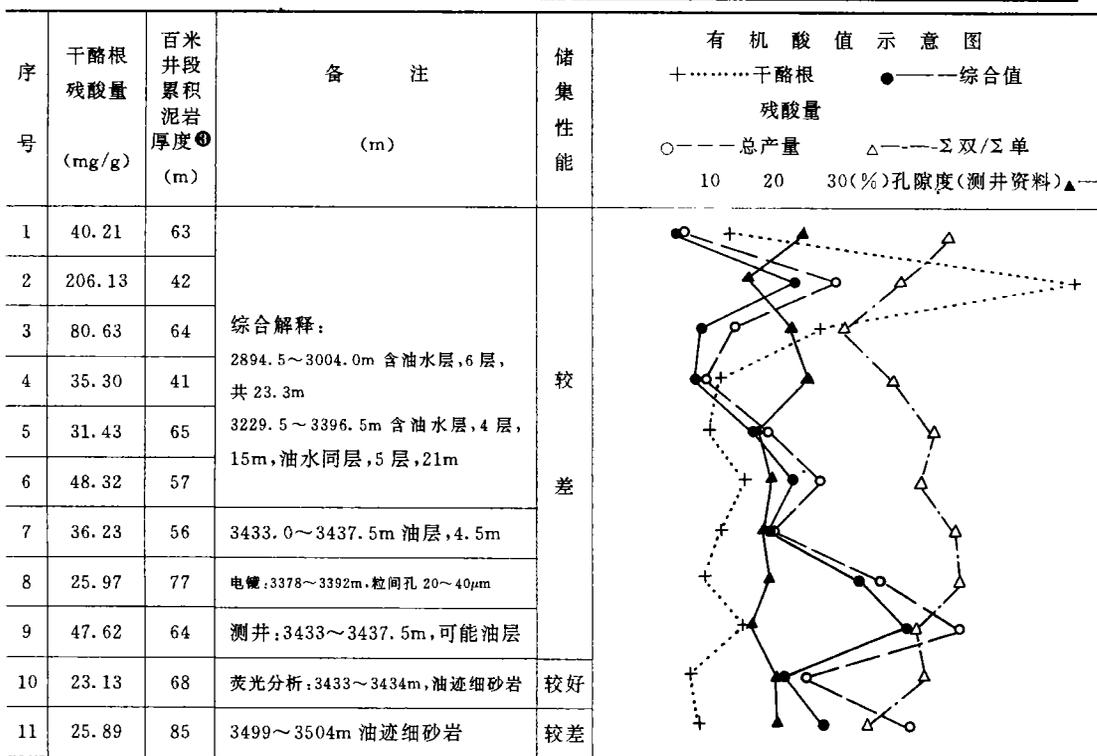
北6井1号样品相应地层成熟度不高, $R^0=0.42\%$,因而累积产酸量不会很高,于是,分析时不予考虑。6号和9号样品残酸量分别为 48.32mg/g 和 47.62mg/g (表3),都明显高于相邻样品的残酸量。正是这两个样品相应地层附近储层含油状况和孔隙情况相对较好(表3)。

由于多数情况下,储层良好的孔渗及含油层频繁的出现常常与次生孔隙相对较发育有关。而次生孔隙的发育往往是大量干酪根累积已产酸作用的结果。因而根据北6井纵向剖面中6、9号样品相应地层附近储层情况较好,可反推其样品累积产酸量较高。而6、9号样品残酸量恰好高于上下层段样品。于是得出干酪根残酸产量高,其累积酸产量也高的认识。

进行理论分析时,也可得出上述认识。图1示意多数因素相同情况下,累积酸产量与残余酸产量关系的变化。当干酪根类型不同,相应地层条件各异时,各类样品总产酸量(累积

表3 南堡凹陷北6井泥岩干酪根有机酸分析数据及相关资料

序号	深度 (m)	层位	岩性	H/C 原子比	O/C 原子比	有机质类型	R ^o (%)	成熟阶段	有机碳 (%)	地层有机酸评价		
										Σ双—Σ单	总产量 ^①	综合值 ^②
1	2056~2059	Ng	绿灰色泥岩	0.99	0.15		0.42		0.11	0.92	278.7	256.4
2	2305~2308	Ed ¹	灰褐色泥岩	1.28	0.21	I ₁	0.41	低成熟	0.17	0.78	1471.8	1148.0
3	2524~2617		灰色泥岩	1.14	0.19		0.46		0.14	0.61	722.4	440.7
4	2705~2763		灰色泥岩	1.03	0.17		0.53		0.35	0.75	506.6	379.9
5	2823~2903		灰色泥岩	1.09	0.11		0.56		0.48	0.88	980.6	862.9
6	2929~2979		灰色泥岩	1.03	0.16		0.56		0.5	0.84	1377.1	1156.8
7	3005~3010	Ed ²	深灰色泥岩	1.12	0.12	I ₂	0.59	A ₁	0.49	0.94	994.2	934.5
8	3131~3154		深灰色泥岩	1.06	0.13		0.60		0.88	0.95	1759.7	1671.7
9	3230~3251		深灰色泥岩	1.08	0.13		0.62		0.78	0.83	2377.2	1973.1
10	3385~3401		深灰色泥岩	1.17	0.09		0.68		0.80	0.85	1258.3	1069.5
11	3499~3504	Ed ³	深灰色泥岩	1.21	0.07	I ₁	0.72	3400m成熟 A ₂	0.92	0.68	2024.6	1376.7



① 地层有机酸总产量：干酪根残酸量×有机碳含量×地层厚度之积；即地层干酪根相对残酸总产量

② 地层有机酸综合值：地层干酪根相对残酸总产量Σ双/Σ单之积

③ 百米井段累积泥岩厚度：取样深度中心点上下50米内的泥岩累积厚度

酸与残余酸量总和)当然也不同。然而,在成熟度差别不大时,对于相对比较的样品而言,累积酸产量与残余酸产量的分配比例差别不大,即累积酸量/残余酸量比值相近,残余酸产量高,累积酸产量也高。北6井的实际情况,符合上述分析。

应当指出,由于北6井各层段有机碳和泥岩层厚度等因素差别不是特别明显,因而讨论时未考虑它们对地层干酪根总产酸量的影响。

2.4 决定地层有机酸总产量的三要素

具体层段泥岩干酪根有机酸总产量主要由下述3要素决定。即由单位重量干酪根的产酸量、单位重量泥岩的干酪根含量和该层段泥岩总量(密度×体积)3个因素决定。它们的关系可用下列简单算式表示:

$$\text{具体层段泥岩干酪根总产酸量} = \text{单位重量干酪根产酸量} \times \text{单位重量泥岩干酪根含量} \times \text{具体层段泥岩总量}$$

由于泥岩干酪根含量与有机碳含量仅差一个系数(暂不考虑有机质类型和成熟度对系数的影响),因而上式的单位重量泥岩干酪根含量可用有机碳含量近似代替。另外,泥岩层总量可用泥岩厚度代替,这是因为同一地区纵向上比较各层段泥岩时,常近似认为,其平面分面积及岩石密度均相差不大。于是上述算式可近似改用下式表示:

$$\text{具体层段泥岩干酪根相对产酸总量} = \text{单位重量干酪根产酸量} \times \text{泥岩有机碳含量} \times \text{具体层段泥岩厚度}$$

计算上式相对产酸总量时,只将右端三项数值直接相乘。为简便起见,文中未书写单位($10^{-2}\text{m}\cdot\text{mg}/\text{g}$)。如表4中8号样品,残余酸量41.53mg/g,有机碳3.36%,地层厚度85.5m。该样品相对产酸总量则为:41.53×3.36×85.5=1.2×10⁴($10^{-2}\text{m}\cdot\text{mg}/\text{g}$)。表3、4、5中各层的相对产酸总量都是按此法计算的。

然而实际研究时,笔者测得的是单位重量干酪根的残余酸产量。因而按上式求得的是相对残余酸总量,至少相对累积酸总量,可根据上文中它们的相互关系,进行大致估计。

2.5 Σ 二元酸/ Σ 单元酸(简称 Σ 双/ Σ 单)比值是与有机酸溶蚀强度有关的指标

地下储层被溶蚀的矿物数量(某种程度相应于次生孔隙数量),除与储层含酸流体介质的有机酸总量(干酪根累积产酸总量)有关外,还与介质酸浓度有关。注意,这里的酸浓度与前面提到的干酪根有机酸浓度含意完全不同。干酪根有机酸浓度(mg/g),指每克干酪根水热降解时产生的有机酸毫克数,并不是流体介质中的酸浓度(mg/l)。

储层含酸流体介质有机酸浓度,只是部分地反映有机酸溶蚀矿物的强度。这是因为以多种有机酸构成的含酸介质,其溶蚀矿物的强度,除以浓度有关外,还与有机酸种类有关。即有机酸的浓度和种类是决定储层含酸介质溶蚀矿物强度的两个重要因素。

由于储层含酸介质的酸浓度无从考察,因而只能根据干酪根实测有机酸种类,部分地反映溶蚀矿物的强度。

用 Σ 双/ Σ 单比值作为衡量有机酸溶蚀强度的指标,主要由于二元酸溶蚀强度高于单元

酸。关于这点,可从室内溶蚀矿物实验和氢离子浓度两方面说明。在与油田水同样的浓度和温度范围内,进行溶蚀矿物实验时,乙酸溶液只能使铝的溶解度增加一个数量级,而乙二酸能增加3个数量级(Surdam等,1984)。另一方面,从理论上讲,酸类物质溶蚀矿物的强度取决于其氢离子浓度的大小。在相同酸浓度(1M)时,乙二酸的氢离子浓度($10^{-0.65} \sim 10^{-2.14}$ mol/l)明显高于乙酸($10^{-2.38}$ mol/l)、丙酸($10^{-2.44}$ mol/l)(Meshri,1986)。Surdam等(1982)的实验结果类似,25℃的1M浓度溶液,乙二酸提供的氢离子的能力是碳酸的350倍,而甲酸、乙酸和丙酸依次仅是20倍、7倍和6倍。

2.6 地层有机酸溶蚀矿物能力的两个要素:地层有机酸总产量和 Σ 双/ Σ 单比值

地层有机酸溶蚀矿物的能力,应从有机酸总产量及其溶蚀强度两方面综合考虑。一定程度上,这两方面分别代表有机酸的量和质。它们可分别用地层干酪根相对残酸总产量和 Σ 双/ Σ 单比值来反映,尽管有机酸总量是相对的,溶蚀强度尚不全面(未考虑流体介质的有机酸浓度)。

将单井地层剖面各层有机酸相对残酸总产量与 Σ 双/ Σ 单相乘。根据各层乘积大小,预测纵向次生孔隙发育程度。实际资料表明,地层干酪根相对残酸总产量与 Σ 双/ Σ 单之积较高的层段,往往是次生孔隙发育层段。

2.7 以酒东盆地营参1井为例,用地层干酪根相对残酸总产量 \times Σ 双/ Σ 单之积评价次生孔隙发育程度

2.7.1 评价地层剖面与有机酸有成因关系的次生孔隙时,应考虑到剖面中所有泥岩层对有机酸的贡献

探讨地层有机酸与次生孔隙关系时,虽然对取样层已经考虑到了决定有机酸总产量的主要因素(有机碳含量和地层厚度)(表4),但未取样层干酪根对有机酸的贡献未包括在内。实际地层剖面中,各层段泥岩产生的有机酸都在起作用。因此与有机酸有成因关系的次生孔隙,是地层剖面总体有机酸在多种因素控制下综合作用的结果。

按上述思路,笔者根据营参1井钻井地质总结报告^①提供的全井生油岩分段数据,采用相应各层段样品单位重量干酪根残酸产量平均值,求得营参1井各段生油岩的地层干酪根残酸相对总产量(表5),以便合理地考察地层有机酸产量与次生孔隙的关系。

各段生油岩有机质类型和数量的不同,不仅使其总产酸量各不一样,而且所产生的有机酸种类也有差别。用 Σ 双/ Σ 单比值表示这种差别,是因为该比值与感兴趣的有机酸溶蚀矿物的强度密切相关。于是地层干酪根残酸相对总产量与 Σ 双/ Σ 单之积(暂称地层有机酸综合值),在评价与有机酸有成因关系的次生孔隙时,相对较合理。

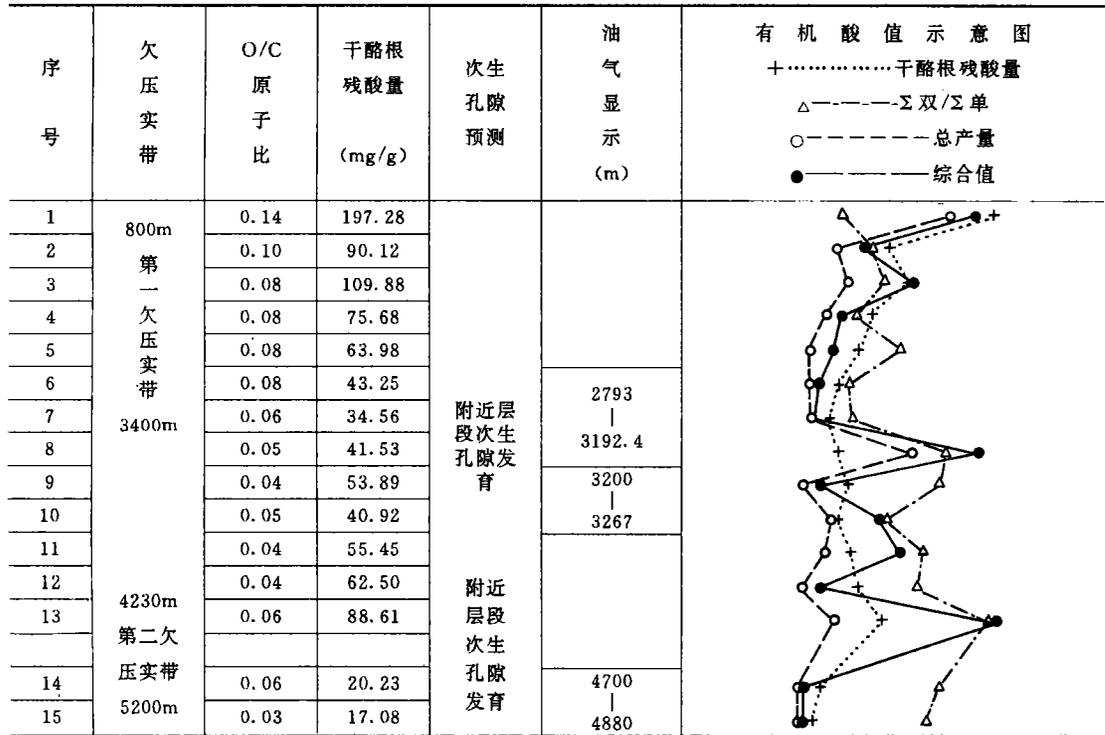
2.7.2 营参1井主要油气显示段落在地层干酪根有机酸综合值(地层干酪根残酸相对总产量与 Σ 双/ Σ 单之积)最大的井段内(2540~3264m,表5)

表5右侧为营参1井地层干酪根有机酸综合值曲线,5个生油岩分段相比,以2540~3264m井段综合值最高,为 21.1×10^4 。该井的3个油气显示段中,第一显示段(2793~3192.4m)和第二显示段(3200~3267m)分别落在2540~3264m井段的中部和底部(表4,表5)。

① 赖必智. 酒东盆地营尔凹陷参1井钻井地质总结报告. 玉门石油管理局钻井处地质大队,1987

表 4 酒东盆地营参 1 井泥岩干酪根有机酸数据及相关资料

序 号	深 度 (m)	层 位	岩 性	层 厚 (m)	有 机 碳 (%)	R ^o (%)	地 温 (C)	成 熟 阶 段	有 机 质 类 型	沉 积 相	地 层 有 机 酸 评 价			
											Σ 双 Σ 单	总 产 量 (×10 ⁴)	综 合 值 (×10 ⁴)	
1	2261	K _{1z} ¹	灰绿色白云质泥岩	267	0.74	0.47	86.6	低成熟 A ₁	I 型 为 主	半咸水	1.12	3.9	4.4	
2	2389		灰色泥岩	123	0.90		91.0				1.79	1.0	1.8	
3	2479.5		深灰色白云质泥岩	60	1.88	0.51	94.1				2.27	1.2	2.8	
4	2551.5		深灰色白云质泥岩	72	1.36	0.52	96.5			1.47	0.7	1.1		
5	2696		深灰色白云质泥岩	44	1.20	0.54	101.4			2.74	0.3	0.9		
6	2752		灰色白云质泥岩	66	1.3	0.55	103.3			1.33	0.4	0.5		
7	2841	K _{1z} ²	灰色白云质泥岩	60	1.27		106.4	成 熟 (A ₂)	I ₂ I ₁ I	微咸水 深 湖	1.39	0.3	0.4	
8	3133		深灰色白云质泥岩	85.5	3.36	0.58	116.3				3.84	1.2	4.6	
9	3259		深灰色泥岩	7	4.59	0.61	120.6				3.62	0.2	0.6	
10	3335.5	K _{1g}	灰色白云质泥岩	150	1.54		123.2			II 型 为 主	微咸水 半 深 湖	2.24	0.9	2.1
11	3469.5		深灰色白云质泥岩	154	0.93	0.67	127.8					3.28	0.8	2.6
12	3627		深灰色白云质泥岩	59	0.57	0.78	133.2				3.02	0.2	0.6	
13	3756		深灰色白云质泥岩	170	0.68	0.93	137.6	4.81	1.0		4.9			
		K _{1c}	深灰色白云质泥岩						咸水、浅湖					
14	4237	J ₁₊₂₁	深灰色白云质泥岩	4.5	0.52	1.12	154.0	4200m 高成熟 (B)	III 型 为 主	淡水 河 流 沼 泽	3.58	0.005	0.017	
15	5133		深灰色泥岩	1	1.15	1.43	184.5				3.32	0.002	0.007	

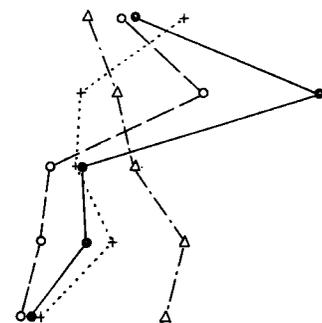


①地层有机酸总产量:单位重量干酪根残酸量×有机碳含量×地层厚度之积,即地层干酪根相对残酸总产量;
 ②地层有机酸综合值:地层干酪根相对残酸总产量×Σ双/Σ单之积; ③除有机酸资料外,其它数据和资料引自:黄
 第藩等,酒东盆地石油地质地球化学综合研究和远景评价,1990; ④地层厚度根据营参1井综合录井图。

表 5 营参 1 井按生油层分段对全井有机酸的总体评价

序号	生油层分段 (m)	岩性	累积厚度 (m)	颜色	沉积相	沉积环境	有机碳 (%)	S ₁ +S ₂ (kg/t)	氯仿沥青 A (%)	总烃 (×10 ⁻⁶)	A / 有机碳 (%)	地层有机酸评价		
												Σ双 / Σ单	总产量 (×10 ⁴)	综合值 (×10 ⁴)
1	2060 2250	泥岩	190	灰黑灰绿	浅、滨湖	弱还原、还原	0.55	0.45	0.0046		0.77			
2	2250 2540	泥岩	290	灰黑	浅湖	还原	1.29	1.79	0.0374	77	2.65	1.73	5.0	8.6
3	2540 3264	泥岩页岩	724	灰黑	半深湖	还原	2.33	10.80	0.1837	872	11.31	2.40	8.8	21.1
4	3264 3625	泥岩白云岩	361	灰黑	半深湖	还原	0.91	2.29	0.0435	321	10.54	2.76	1.6	4.4
5	3625 3858	泥岩白云岩	233	灰黑	浅、半深湖	还原	0.68	1.56	0.0665	523	14.53	3.92	1.2	4.7
6	3920 5133	泥岩页岩	253	灰黑	浅、滨湖	还原弱还原	0.71	0.54	0.0192			3.45	0.3	1.2

序号	总烃 / 有机碳 (%)	H/C 原子比	R° (%)	干酪根类型	干酪根残酸量 (mg/g)	有机酸值示意图		
						+ ······ 干酪根残酸量	○ - - - - 总产量	● - - - - 综合值
							△ - - - - Σ双/Σ单	
1	0.94	<0.5		I _B				
2	0.80	1.01	0.5	I _B I _A	132.4/3			
3	5.18	1.10	0.5~0.8	I _A	52.1/6			
4	7.83	1.00	0.8	I _A I _B	48.2/2			
5	11.41	0.92	0.8	I _B I _A	75.6/2			
6				I	18.7/2			



注: ①地层有机酸总产量: 单位重量干酪根残酸量×有机碳含量×地层厚度之积; 即地层干酪根相对残酸总产量;
 ②地层有机酸综合值: 地层干酪根相对残酸总产量×Σ双/Σ单之积; ③干酪根残酸为相应井段数个测定值的平均值。例: 132.4/3, 右下角 3 为样品数目。132.4 是表 4 中 1~3 号样品的平均值; ④除有机酸外, 其它资料引自: 赖必智等, 酒东盆地营尔凹陷营参 1 井钻井地质总结报告. 玉门石油管理局钻井处地质队, 1987

第二油气显示段出现了溶孔,而且储集性能好于第一显示段(表 4),可能由于该显示段位于 K_{1g} 与 K_{1z^1} 地层不整合面附近,原始孔渗性能相对较好,有利于含酸流体介质流通及对矿物的溶蚀。

2.7.3 预测次生孔隙发育层段

表 4 中 13 号样(3756m, K_{1g}),虽然有机碳含量不高(0.68%),但单位重量干酪根残酸量及相应泥岩层厚度都明显高于上下层样品,分别为 88.61mg/g 和 170m(3688~3858m 井段)。因而该层地层干酪根残酸相对总产量相当高,在剖面 15 个样品中居第 3 位。 Σ 双/ Σ 单比值也较高,达 4.81。计算得到的地层有机酸综合值为 4.9×10^4 ,是该井 15 个样品相应地层中的最高值(表 4)。因而 3688~3858m 井段及其相邻地层,尤其是 3920m K_{1c} 与 K_{1g} 不整合面附近,应当是次生孔隙相对发育段。

(收稿日期:1995 年 1 月 16 日)

参 考 文 献

- 1 梅博文,杨文宽. 储层地球化学(译文集). 西安:西北大学出版社,1991
- 2 程中第,应凤祥. 油田水中低碳酸的分析. 石油实验地质,1995,17(1)
- 3 薛叔浩,应凤祥. 陆相盆地的沉积和储集层. 中国陆相石油地质理论基础. 北京:石油工业出版社,1991:79~163
- 4 徐龙等. 油田水中短链酸分析及其成岩作用意义(摘要). 西安地质学院学报(增刊),1992,14:59
- 5 应凤祥(起草人). 碎屑岩成岩阶段划分规范. 中华人民共和国石油天然气行业标准,SY/T 5477-92,北京:石油工业出版社,1993
- 6 Meshri I D. 论碳酸和有机酸的反应能力和次生孔隙的形成. 储层地球化学(译文集). 西安:西北大学出版社,1992:134~144
- 7 Surdam R C. Boese S W and Crossey L J. The chemistry of secondary porosity, In: *Clastic Diagenesis* (Ed. McDonald and Surdam) *Am. Assoc. Pet. Geol.* 1984, Mem. 37, 127~150

RELATION OF ORGANIC ACID GENERATED BY KEROGEN TO SECONDARY POROSITY OF RESERVOIR

Zhu Baoquan Cheng Zhongdi Yang Fengxiang

(Laboratory Centre, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 10083)

Abstract

The significance of organic acids generated by kerogen on diagenesis and secondary porosity is discussed in the paper. It is considered that those secondary porosity genetically related with kerogen-derived organic acids are resulted from the reactions of organic acids yielded by and accumulated in kerogen to minerals in rocks; meanwhile it is suggested that the residual acids generated by kerogen in formation relative to their total yield (expressed by the product of per unit weight yield of residual acids by kerogen, the content of organic acids and thickness of formation), the ratio of Σ binary-acid and Σ mono-acid can be employed to predict the intervals with well-developed secondary porosity.