

# 利用干酪根 H/C 比评价烃源岩热成熟度与生烃潜力

Baskin D K

**摘要** 在近几年来,人们倾向于利用 Rock-Eval 热解法的氢指数来评价烃源岩,而忽略了用干酪根 H/C 比值评价烃源岩的优点。Rock-Eval 热解法能快速、廉价、定量(mgHC/g 岩石)地给出岩石中干酪根的热解数据。由于在数据分布上的普遍分散性,一般人们认为 Rock-Eval 热解法对烃源岩评价是一种筛选评价。描述了在烃源岩评价中应用 H/C 比值的优点,并确定了 H/C 比值与热成熟度、有机质转化率和排油量之间新的相关性。

热解干酪根的 H/C 比值与 I 型、II 型干酪根的热转化率程度存在一定的相关性。定量计算的氢和碳损失与加水热解实验中的损失具有很好的一致性,表明干酪根 H/C 比值可作为干酪根端元热成熟度的一个好的指标。如果现在和原始 H/C 比值确定,那么这些数据同时也为评价有机质转化率提供了一种新的方法。现在 H/C 比值可通过微相有机质分析测试。对于生油源岩, I 型未熟干酪根的 H/C 比值为 1.35~1.50, II 型 H/C 比值为 1.20~1.35。

在加热水解实验中,油的排出量与 H/C 比值之间的相关性可为勘探工作者提供一种快速评价油的排出量的方法。依据加水热解实验、测试的 H/C 比值和计算的原始 TOC(总有机碳)对 Williston 盆地(Bakken 页岩)、Los Angeles 盆地(Nodular 页岩)和 Illionis 盆地(New Albany 页岩)的成熟烃源岩进行了初步体积估算,其结果于已发表的该盆地油的评价价值非常吻合。

**关键词** H/C 比值 干酪根 烃源岩 成熟度 生烃潜力

## 0 前言

在过去的 20~25 年里,石油地球化学家成功地应用常规分析法对烃源岩进行了定量描述,包括岩石中有机质的数量、类型以及成熟度。而近些年来,人们更强调对烃的生成与排出的定量评价。现代勘探风险要求人们更全面地评估在成熟源岩中,有多少干酪根转化为石油,又有多少石油排出,这些信息对勘探、盆地建模以及远景评价都至关重要。

本文旨在使地球化学工作者重新认识利用干酪根 H/C 比评价烃源岩的好处,并给出与 Rock-Eval 热解方法结合以更好地评价烃源岩热演化史的 H/C 比值范围。利用干酪根 H/C 比方法评定有机质成熟度,并快速地评价有机质转化率。另外,利用 H/C 比与加水热解实验的比较来评价液态烃的排出量。二者之间的关系能快速有效地给出从成熟源岩中排出的原油的大致数量。当然,这不能代替精确的盆地模拟研究。

关于评价干酪根转化率的方法已有报道。Rock-Eval 热解法通过与同一烃源岩成熟  $I_H$  的比较来估计其未熟  $I_H$ 。随着成熟度增加,  $I_H$  的降低反映了有机质转化为石油的比例。英国石油公司就是广泛应用  $I_H$  指数评价烃源岩生烃潜力的, 但其是应用代数方法来计算已生成的石油量。已生成石油与生成总量(Rock-Eval 热解法  $S_2$ ) 的比值是一种衡量转化率的方式。两种方法都需要与成熟烃源岩的未熟岩样进行地球化学对比, 而这样的样品通常无法获得。进一步讲, 利用未熟烃源岩的原始  $I_H$  或  $S_2$  来评价是非常不可靠的, 因为对给定质量的有机质会由于源岩性质不同, 生烃量会变化很大。

当假定为一级反应时, 干酪根转化率可用 Arrhenius 方程来建立动力学模型, 而瑞利方程需要活化能和影响因子来决定在一定温度下干酪根的转化率。这些参数往往需要通过对全岩或分离出的干酪根进行多阶段等温热模拟实验才能获得。此外, 源岩的时间-温度效应也必须根据具体沉积盆地重新建立。这些需要具有适当的限制条件的热力学方程来实现。地热流体、埋藏史以及古温度都会影响动力学转化率。

## 1 讨论

### 1.1 烃源岩评价

为了评价源岩的生烃潜力和生烃史, 必须首先知道有机质的数量、类型以及成熟度。随着热演化史, 差烃源岩、好烃源岩以及优质烃源岩的判识标准都发生变化。Peters 等总结了烃源岩的评价参数(表 1)。

表 1 烃源岩评价参数

有机质数量	有机质		沥青		总烃	
	Wt. %TOC	Rock-Eval $S_2$	Wt. %岩石	$10^{-6}$ 岩石	$10^{-6}$ 岩石	
差	<0.50	<1.0	<0.05	<500	<300	
一般	0.5~1.0	1.0~5.0	0.05~0.10	500~1000	300~600	
较好	1.0~2.0	5.0~10.0	0.10~0.20	1000~2000	600~1200	
好	2.0~4.0	10.0~20.0	0.20~0.40	2000~4000	1200~2400	
优质	>4.0	>20.0	>0.40	>4000	>2400	
有机质类型	H/C 比		氢指数(mgHC/gTOC)		Rock-Eval $S_2/S_3$	
气体	<0.80		<100		<3	
气和油	0.80~1.0		100~200		3~5	
油和气	1.0~1.2		200~350		5~10	
油	>1.2		>350		>10	
有机质成熟度						
生烃阶段	成熟度			生成物		
	$R_o$ (%)	热变指数	$T_{max}$ ( $^{\circ}$ C)	沥青/TOC	mg 抽提物/TOC	$S_1/(S_1+S_2)$
未熟	<0.60	<2.5	<430	<0.05	<50	<0.01
开始生烃	0.60	2.6~2.6	430~435	0.05~0.10	50~150	0.10~0.15
生烃高峰	0.90	2.9~3.0	445~450	0.15~0.25	150~250	0.15~0.25
生烃晚期	>1.2	>3.2	>460	<0.05	<50	<0.20

人们通过测定实验中总有机碳含量(TOC)来评价岩石中的有机质丰度, 因为从岩石晶格中对有机组分的分离和定量非常困难。例如, 利用潮湿化学法从粉碎的岩石中分离干酪根

的重量由于残余物质(黄铁矿)的影响而无法准确定量。依据源岩成熟度和质量,岩石中有机质的量大约等于  $1.25 \times \text{TOC}$ 。能形成工业油藏的有机碳下限定为 0.5%。但是,全球沉积盆地而言,优质烃源岩的平均 TOC 都超过 2.0%。有机构类型一般可通过 Rock-Eval 热解法和有机质显微分析确定。Rock-Eval 热解法作为有效测定源岩有机质的方法,可用于有机质潜力评价。虽然 Rock-Eval 热解仪多种多样,但它均能给出岩石的有机挥发份量  $S_1$ , 干酪根热解生烃总量  $S_2$  和干酪根  $\text{CO}_2$  生产量  $S_3$ 。通过  $S_2$  和  $S_3$  能计算出岩石中氢、氧指数。通过这些参数可绘制出 Van Krevelen 的 H/C 和 O/C 关系图。如果成熟度已知,可直接利用 H/C 比对干酪根进行生烃评价。

有机质热成熟度一般通过 Rock-Eval 热解法的  $T_{\text{max}}$  演变而来。 $T_{\text{max}}$  是干酪根发生最大转化的热解温度。 $T_{\text{max}}$  资料应与有机质显微分析,例如,镜质体反射率( $R_o$ )和孢子色变指数一起解释。如果干酪根类型确定,那么 H/C 比也是一个好的成熟度指标。有机质类型通常可单独通过有机质显微分析测得。除了有机质数量、类型和成熟度外,石油生成还应包括源岩垂向、水平展布,有机质相变和已达到成熟度的供油面积。近期,人们着重强调源岩沉积环境的化学特征,通过沉积时的相对氧化程度来建立有机质保存程度的标准。同时,生标分析也至关重要。

## 1.2 有机质转化率

在评价原油生成量之前,必须知道源岩原始生烃潜力与有机质转化率。在建立岩石原始生烃潜力时,必须把初始 TOC 值和干酪根类型确定下来。在研究烃源岩时,初始 TOC 值和原始干酪根类型须重新建立,而对已转化为原油的干酪根分馏特征也须确定下来。

### 1.2.1 H/C 比与 $I_H$ 指数

对于干酪根生烃潜力,最重要的因素是氢的丰度,理由很简单,富氢有机质普遍比贫氢有机质更易生油,因为油是富含氢的。无论残余碳的数量如何,在干酪根用完氢后,生油就会结束。因此,富含氢的有机质就是好的潜在烃源岩。两种主要评价干酪根中氢含量的方法是 H/C 比和 Rock-Eval 热解的  $I_H$  指数。

H/C 比是干酪根类型评价最为有效的指标,也是与其它有机质类型指标进行对比的标准(Jones, 1987)。在煤岩化学研究的基础上, Tissot 等(1974)主要依据 H/C 比将干酪根分为三类。Jones 和 Edison(1978)指出了 H/C 比作为干酪根类型指数的可靠性。Jones 和 Demaison(1982)认识到热解  $I_H$  与 H/C 之间存在很大差异,并依据干酪根 H/C 比而不是热解产率初步划分了有机质沉积相和源岩生烃潜力。Jones 和 Demaison 认为有机相 B(Ⅰ型有机质)是世界主要的生油烃源岩,在未成熟时, H/C 比为 1.2~1.4(表 2)。

表 2 有机沉积相地球化学特征

有机相	产物	H/C 比	$I_H$ 指数	$I_o$ 指数
A(湖相)	油	>1.40	700~1000	10~40
B(海相)	油	1.20~1.40	350~700	20~60
B-C(海湖相)	油+气	1.00~1.20	200~350	40~80
C(腐殖型)	气+油	0.70~1.00	50~200	50~150
D(惰质型)	气	<0.70	<50	20~1200

Jones 和 Demaison(1982)给出了含 II 型干酪根的页岩、碳酸盐岩、磷灰岩烃源岩的 H/

C 比(表 3)。这些烃源岩为未熟,生油有机质含量超过 90%,H/C 比在 1.2~1.4 之间。对于这些干酪根 H/C 比可以进行比较研究,因为原始有机物组成相似(藻类、细菌),并且沉积在相似的沉积环境中(闭塞环境与还原环境)。不过,与 Rock-Eval 热解的  $I_H$  相比,H/C 应用较少,因为测定 H/C 比不仅耗时而且费用昂贵。另外,在干酪根分离过程中,会沉淀含水硅酸盐岩,其在燃烧时会释放氢导致 H/C 比值异常偏高。硅凝胶污染可通过显微镜识别出来并可用热盐酸处理掉,但氟化硅不溶于酸。

表 3 国外 I 型干酪根烃源岩的典型 H/C 比值

取样点	H/C 比	参考文献
Austin 白垩(Texas)	1.2~1.3	Grabowski(1984)
Bakken 页岩(North Dakota)	1.23	Jones(1980)
Bone Valley 磷酸盐(Florida)	1.2~1.25	Powell et al. ,(1975)
Cenomanian 页岩(offshore Senegal)	1.20	Magoon and Claypool(1984), Burwood et al. ,(1988)
Devonian 页岩(western Canada)	1.21~1.26	Jones(1987), Ebukanson and Kinghorn(1985)
Kingak 页岩(Alaska)	1.2~1.3	Peters et al. ,(1990), Baskin and Peters(1992)
Kimmeridgian 粘土(North Sea)	1.22~1.35	Jones(1987),Ebukanson and Kinghorn(1985)
Monterey 页岩(California)	1.2~1.4	Katz and Elrod(1983), Orr(1986), Peters et al. ,(1990), Kaskin and Peters(1992)
Phosphoria Retort 页岩(Wyoming)	1.2~1.3	Claypool et al. ,(1978), Lwane(1995)
Sunniland Limeshone(Florida)	1.2~1.3	Palacas et al. ,(1974)
Toarcian 页岩(France)	1.20~1.26	Tissot et al. ,(1974), Durand(1980), Jones(1978)
Tuwaiq Mountain(Middle East)	1.2~1.4	Ayers et al. ,(1982), Jones(1985)
Woodford 页岩(Oklahoma)	1.27	Lewan(1985)

Rock-Eval 热解法仍是当前烃源岩评价的主要工具。它能快速、廉价地对全岩进行生烃评价,利用  $I_H$ 、 $I_0$  指数确定干酪根类型,其类似于 Van Krevolen 的 H/C 与 O/C 比值。但是,要综合 H/C 比与 Rock-Eval 热解的  $I_H$  指数是比较困难的。例如:Katz 等测定了西太平洋白垩系到侏罗系黑色页岩的生烃潜力,样品的 H/C 比介于 1.2~1.4 之间(相差 14%),而  $I_H$  分布在 150~650 mgHC/gTOC 之间(相差 75%)。Grabowski 绘出德克萨斯中南部白垩系 Austin Chalk 不同样品的 H/C 比与  $I_H$  指数图,其数据显示对未熟油干酪根  $I_H$  值相差 67%(180~540 mgHC/gTOC),而 H/C 介于 1.2~1.4 之间。Tatz 和 Elrod(1983)绘出了 Miocene Monterey 组样品的 H/C 与  $I_H$  关系图, $I_H$  指数相差大于 50%(300~650 mgHC/gTOC),而 H/C 相差 11%(1.25~1.4)。其它地区的样品也表明  $I_H$  指数的变化要大于同一样品的 H/C 比。

已有许多学者对  $I_H$  与 H/C 比测定之间的差异进行了论述,他们认为与 H/C 比相比,Rock-Eval 的  $I_H$  指数评价干酪根类型偏差。这些差异主要是由于矿物晶格(特别是贫有机质岩石),沥青污染以及分析方法(热解或燃烧)所引起的,另外,Rock-Eval 热解分析实验误差一般大约为 ±10%,而 H/C 比分析测试误差为 ±0.5%。对于生油干酪根 H/C 比在 1.0~1.5 之间,分析误差大约为 ±(3%~5%)。在 Rock-Eval 热解前将干酪根分离出来是否会提高测试值精度还不清楚,例如,Orr(1981),Katz(1983),Crossey 等(1986)和 Peters(1986)认为分离出的干酪根 Rock-Eval 热解的  $I_H$  比全岩的  $I_H$  高一些,而 Hunc 等(1985)发现澳大利亚白垩系 Toolebuc 组和 Viking 地堑中上侏罗系页岩有机质的干酪根与全岩的  $I_H$  差别不大。地球化学家认为保存完好的未熟生油有机质具有高的 H/C 比,但相应的烃源

岩并不总是具有高的生烃产率。

准确评价原始干酪根类型是计算生烃转化率的先决条件。对未熟 I 型生油有机质依据介于 350~700 mgHC/gTOC(相差 50%)的  $I_H$  和介于 1.2~1.4(相差 14%)的 H/C 比相比较, H/C 比能更准确地重建成熟烃源岩的原始干酪根类型(表 2)。另外, 有机岩石学家能在显微镜下准确地从有机质分布与类型中测得干酪根 H/C 比(Jones and Edison, 1978)。计算过程中, 应用 Vankrevelen 分布图能确定任何成熟度下单个有机质组成的 H/C 比。例如, 显微镜下观察显示  $R_o$  为 0.5%, 有机质组成分别为无定形藻类 20%、镜质组 65%、惰质组 15%, 有机质总的 H/C 比约为 0.90, 这样的实例很多, 在组成有机质显微组分确定以后, 就比较容易重建原始 H/C 比, 而且, H/C 比计算的分析误差通常在  $\pm 10\%$  范围。这样, 在评价烃源岩时, 应最好选择原始 H/C 比而不是  $I_H$  指数。

### 1.2.2 利用 H/C 评价烃源岩的生烃转化率

在评价成熟烃源岩排油量时, 都必须考虑干酪根转化率。转化率一般是指转化为烃类的有机碳与总有机质的比值。如果无法准确地评估转化率, 就会低估从成熟烃源岩的生油量。在演化过程中, 有机碳的损失部分依赖于干酪根类型, I 型要比 II 或 III 型干酪根更易生成和排出油, 许多报道一致认为在整个成熟期(干酪根生烃结束), I 型干酪根损失 80%~85%的有机碳, II 型损失 45%~60%, 而 III 型损失 10%~20%。

Dow 等从理论上计算了干酪根有机碳损失的重量百分率。假设干酪根损失 H 与 C 的比例与他们生成产物的比例是相等的, 全世界典型原油的 H/C 比为 1.8~1.85, 在忽略早期生成少量甲烷的情况下, 这些数据表明在生烃高峰, 每 100 个碳原子将消耗 185 个氢原子(H/C 为 1.85); 在湿气阶段, 每 100 个碳原子消耗 300 个氢原子(H/C 为 3.0); 在干气阶段, 每 100 个碳原子消耗 400 个氢原子(H/C 为 4.0)。化学计算结果如图 1 所示, 显示了三种干酪根 H/C 比与有机碳损失重量百分比。有机质损失途径可作为原始 H/C 的一种体现。

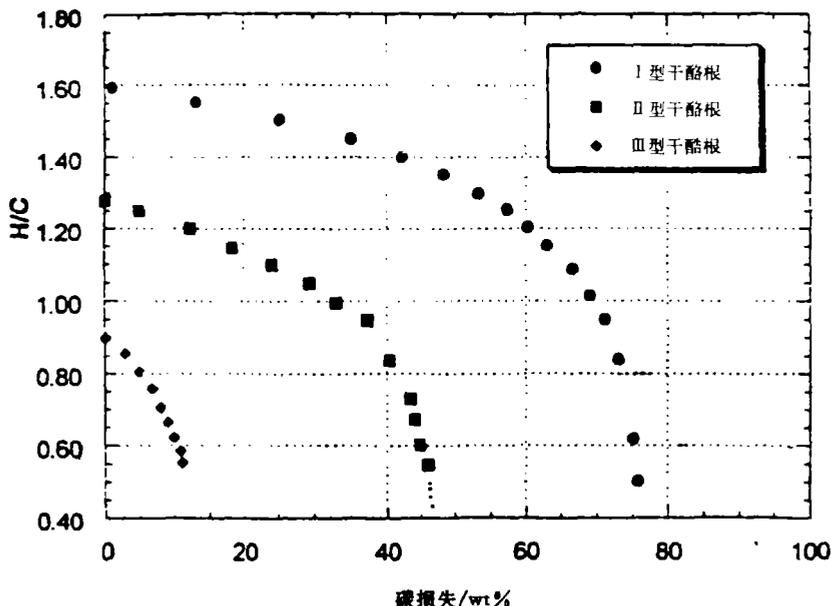


图 1 干酪根 H/C 原子比与有机碳损失

烃源岩转化率可用有机碳损失量除以最大有机碳损失量来粗略估算。例如：I 型干酪根原始 H/C 为 1.26(有机碳损失 0%)，而现在 H/C 为 1.0(有机碳损失大约 33%)，那么它已经生成的烃类占总烃量的 70%(33/46)(图 1)。I 型有机质具有较高的原始 H/C 比(1.59)，在 H/C 比为 1.0 时，大约已转化生成总烃类的 90%。石油最终生成量与原始 TOC 和原始干酪根氢含量成比例。

在成熟阶段，通过化学计量计算是否能得出 H/C 比的减少与有机碳重量损失百分比成比例关系仍不清楚。但是，通过加水热解实验，可以得到 H/C 比与有机碳重量损失百分比关系，这与利用费托定量分析端元干酪根和混合组分得到的结果是一致的。加水热解实验企图通过源岩中加水封闭体系来模拟自然界石油的生成过程。与开放体系(如 Rock-Eval 热解法)相比，加水热解实验生成的油在组分上更接近于原油。费托定量分析是一种将 100g 磨碎的页岩置于 500℃ 温度下，加热 1 h，来计算物质质量平衡的方法。图 2 比较了原始 H/C 均为 1.7 的理论计算的 I 型干酪根有机碳重量损失百分比和 H/C 比与 Monterey 组 I 型干酪根在加水实验中的有机碳重量损失百分比和 H/C 比。类似地，图 3 绘制出了原始 H/C 比均为 1.59 的理论计算的 I 型未熟干酪根 H/C 比和 Green River 组页岩(I 型干酪根)加水热解实验后测得 H/C 比的有机碳重量损失百分比变化图。在这两个实例中，非常好的相关性表明，H/C 减少准确地反映了通过烃的生成造成干酪根有机碳的损失。另外，Dung(1989)指出费托定量分析转化率与澳大利亚油页岩干酪根的 H/C 具有非常好的相关性(几乎为线形)。图 4 为两个生油干酪根在加水热解实验中 H/C 比与生烃转化率关系图。这种非常好的相关性表明干酪根转化率与原始 H/C 比具有直接关系。

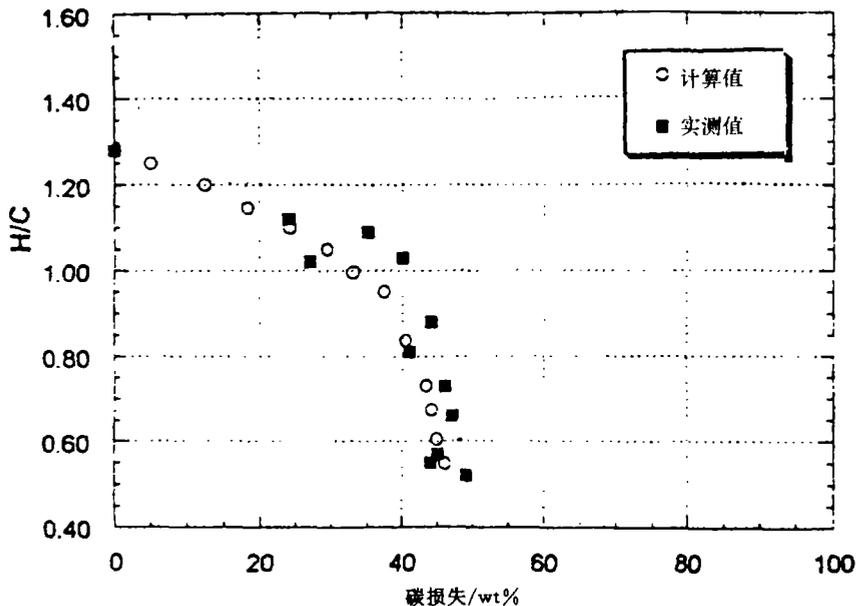


图 2 干酪根 H/C 原子比与理论计算和实测(Monterey 页岩加水热解)的 I 型干酪根有机碳损失

这样，对于企图快速评价指定成熟度烃源岩生烃潜力的勘探家来说，可以通过比较测定的 H/C 比和有机质显微分析获得的原始 H/C 比来得出有机碳重量损失百分比来估算。对于原始 H/C 比合理估算，特别是保存完整的 I 型干酪根，原始 H/C 比几乎都为 1.20~

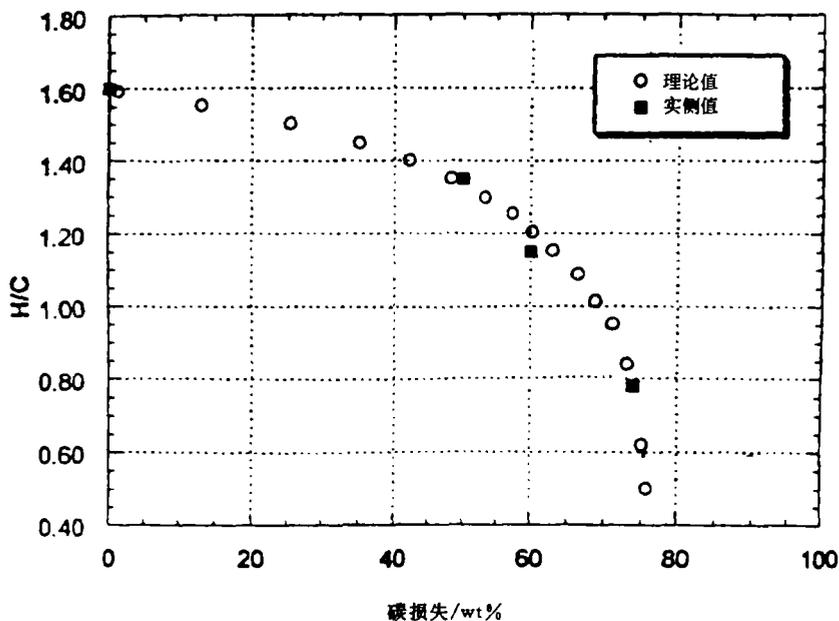


图3 干酪根 H/C 原子比与理论和实例(Green River 页岩加水热解)的 I 型干酪根有机碳损失

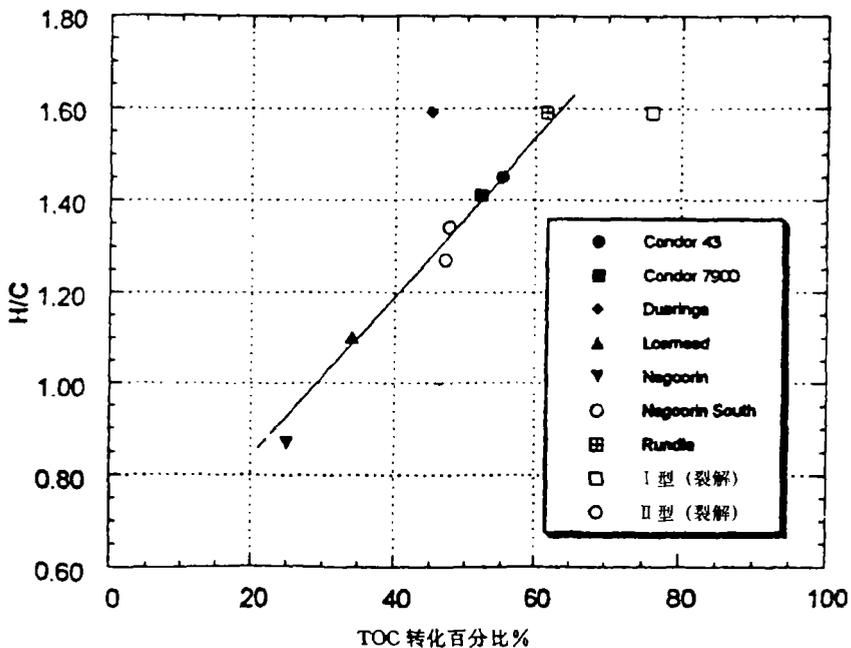


图4 由 Fischer 实验分析得出 H/C 原子比与有机碳转化成油的百分比之间存在强的正相关性

1.35。

## 2 排烃的定量估算

估计成熟烃源岩的排油量一直是人们所向往的。常用 Rock-Eval 热解参数  $S_2$  乘以 22 来得出每英亩英尺的产油桶数。22 是一个估计值,它是依据岩石的颗粒密度和原油比重确

定的。在加水热解实验作为一种常规方法被应用之前,还无法取代 Rock-Eval 热解参数  $S_2$  作为烃源岩定量评价的参数。但是, Rock-Eval 热解参数仅能给出现在源岩的残余生烃潜力,而不能直接给出排烃信息。在热解实验中,快速升温( $25\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ )和利用载气带出裂解产物会造成排烃率高于自然界的排烃率。有机地球化学家认识到仅依靠 Rock-Eval 热解参数  $S_2$  会过高评价生烃潜力。

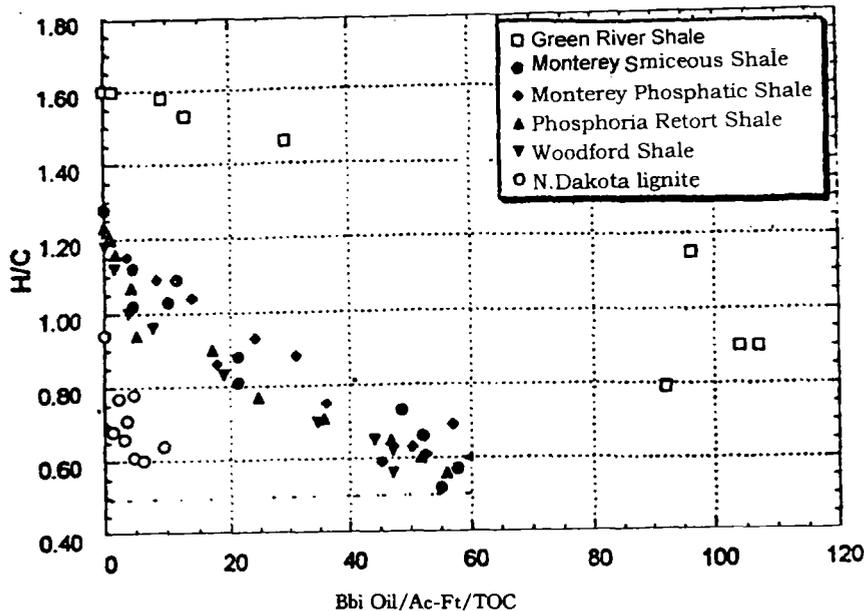


图5 H/C 原子比与已知三种类型源岩加水热解实验生油量的关系

加水热解实验是除了 Rock-Eval 热解法外又一种能对烃源岩进行生烃评价的方法。在对烃源岩加水热模拟中,生成产物主要有沥青(抽提物)、吸附沥青(岩石表面吸附)和排出的原油。不同学者对不同类型干酪根进行了加水热解实验。Huizinga 等(1988)模拟了绿河页岩(I型)的生烃量;Lewan(1985)对二叠系 Phosphoria 页岩和志留系 Woodford 页岩(I型)的加水热解实验进行了报道;Peters 等也对 Miocene Monterey 组磷酸盐与硅质页岩进行了加水热模拟实验;Teerman 等(1991)对 North Dakota 褐煤(III型)干酪根加水热模拟。通过加水热模拟实验能快速评价成熟烃源岩的排油量,不必根据模拟温度来确定排出原油量,仅需根据 H/C 比来确定。排出原油量(吸附+排出)换算成岩石 TOC 含量与 H/C 比关系如图 5 所示。从图中可得出有价值的信息,例如:换算成 TOC 的原油生成量与干酪根原始 H/C 比成一定比例关系。这是非常容易理解的,因为转化率也与干酪根原始 H/C 比有关。绿河页岩( $H/C=1.59$ ),排出的液态物几乎是典型 II 干酪根( $H/C=1.25$ )的 2 倍。在热成熟期间, North Dakota 褐煤(III型)具有较低的 H/C 比,单位 TOC 排出烃也低。具有高的 TOC 含量的煤应显示出可生成大量液态物,但是镜质组与惰质组是煤的主体组成部分,这些显微组分具有很强的吸附能力,几乎阻止所生成液态物的大量排出。

图 5 也表明 I 型干酪根的加水实验也具有类似的排烃特征,明显具有独特的岩石学特征。一般而言, I 型干酪根在原始 H/C 比为 1.25 时,在成熟阶段( $H/C=0.50$ )时每英尺一英尺有机碳可排出 60~65 桶油。但是,这个值对加水热解实验并不是唯一的。Harwood

(1977)报道了不同干酪根在封闭容器中的热解实验,并测试了实验前后元素的组成。通过比较干酪根 H/C 比与生成沥青量,发现在成熟阶段,Ecuador 的 Napo 组页岩每英亩-英尺有机碳可生成大约 65 桶油,其原始 H/C 比为 1.28。这一证据支持了生油源岩的排烃能力受原始 H/C 比、原始 TOC 以及源岩成熟度影响。一般而言,在成熟阶段(H/C=0.5)时,I 型干酪根在加水封闭热解和密闭热解实验每英亩-英尺有机碳都能生成 60~65 桶油。图 5 同样表明干酪根转化率与液态物排出之间 H/C 具有一个滞后效应。在 H/C 为 1.0 时,I 型干酪根应将 75%~80% 的有效碳转化为原油(图 1),但是,图 5 表明,许多在此阶段生成的原油仍在源岩中,这样就造成 H/C 比减少与排出原油在初期阶段并不是线形关系。在 I 型干酪根排出液态物与 H/C 比快速降低表明生成的沥青在排出前已充满岩石空隙。

如果已知干酪根类型、TOC 和 H/C 比,通过干酪根 H/C 比与排出原油量之间的关系可初步粗略估计总的排烃能力、吸附力和已排出原油量。表 4 列出了 3 个实例。对于未熟烃源岩,这种方法更简单,因为总排烃力与吸附力是相同的。在样品已达成熟时,鉴别干酪根原始类型可很好地确定原始 H/C 比。利用这些信息,通过 H/C 比和有机碳损失可重建原始 TOC(图 2,3),原油排出量和吸附量也可通过图 5 计算出。

表 4 可能排烃的 I 型干酪根样品特征

测试参数	原始有机质	原始 H/C 比	排烃能力 (bbl/ac-ft)	已排烃 (bbl/ac-ft)	剩余烃 (bbl/ac-ft)
样品 1(I 型)					
H/C=1.25, TOC=4.0	4.0	1.25	240	0	240
样品 2(I 型)					
H/C=0.8, TOC=2.5	4.2	1.25	250	160	90
样品 3(I 型)					
H/C=0.6, TOC=1.5	3.0	1.25	180	150	30

### 3 结 论

H/C 比作为源岩评价参数一直未受到人们的重视,主要只因为 Rock-Eval 热解法的  $I_H$  指数容易获得。但是,与  $I_H$  指数相比,H/C 比更能反映原始有机质类型以及可作为端元干酪根类型的热成熟度指标。与 Rock-Eval 热解法结合后干酪根 H/C 比对源岩评价有很大帮助,并能使地质工作者快速评价源岩成熟度、转化率和生烃量。

可通过成熟期间干酪根的 H 和 C 损失来确定有机质转化率。从加水热解实验中可知,I、II 型干酪根的热解有机质的 H/C 比与有机碳重量损失百分比具相关性。根据这种关系,通过 H/C 比和干酪根原始类型可确定有机质损失量。而干酪根原始类型可通过镜下分析获得。通过加水热解实验能快速对烃源岩生烃能力、转化率和排烃能力做出定量预测。加水热解实验和 H/C 比评价排烃能力优于 Rock-Eval 热解法,因为在加水热解实验中可直接测量从成熟源岩中排出的原油量。

刘全有 摘译自 AAPG Bulletin, 1997,81(9):1437~1450. 刘文汇 校