

文章编号:1672-9854(2008)-01-00013-005

湘中坳陷上古生界碳酸盐岩烃源岩特征及生烃模式

刘喜顺

(中南大学地学与环境工程学院)



刘喜顺

摘要 据野外露头观察和采样分析,湘中坳陷上古生界碳酸盐岩烃源岩以泥质灰岩、泥灰岩和石灰岩为主,生油母质以偏泥型为主,烃源岩的沉积厚度大、分布范围广,并具有有机碳丰度高、样品达标率高、热演化程度高的“三高”特点。在对碳酸盐岩烃源岩热演化研究的基础上总结出生烃模式,认为本区的生烃分为原始沥青解聚成烃、干酪根降解成烃、包裹有机质释放成烃和热裂解气共四个成烃阶段。

关键词 湘中坳陷;早古生代;碳酸盐岩;生烃源岩;有机质热演化;生烃模式

中图分类号:TE112.11

文献标识码:A

刘喜顺 1973年生,1997年毕业于江汉石油学院石油地质系,现为中南大学在读博士,研究方向为石油地质综合研究。通讯地址:410083 湖南省长沙市

1 基本概况

在油气勘探过程中,特别是勘探初期,烃源岩的评价是第一位的,即一个盆地的资源潜力对勘探部署起决定作用,而烃源岩的成熟度和热演化史是评价烃源岩生烃量的关键,因此,盆地内烃源岩热演化史的差异对盆地内的油气分布具有重要影响^[1]。中国南方中、古生代海相地层经历了加里东、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动的强烈改造与破坏,因此,南方油气勘探的主要对象是改造、叠合的残留盆地。中国南方与造山作用相伴随的岩浆活动十分强烈,从而将南方中、古生代盆地置于较高的热背景之上。此外,较大幅度的沉降及抬升剥蚀作用,使得南方海相烃源岩具有高成熟度的特点。因此,确定盆地内烃源层的热演化史具有重要意义^[2-4]。

湘中坳陷位于雪峰古陆以南、华南褶皱系的北部,它是以下古生界变质岩系为基底发展起来的一个晚古生代—中三叠世的碳酸盐岩为主夹碎屑岩的准地台型沉积坳陷。该坳陷在中泥盆世—中三叠世这一漫长的地质历史时期沉积了厚度大于5 000 m

的碳酸盐岩夹碎屑岩,主要分布于该坳陷的涟源、邵阳、零陵三个凹陷中(图1)。其中具有生烃潜力的泥灰岩、泥质灰岩和石灰岩厚度达2 270 m。



图1 湘中坳陷构造位置图

收稿日期:2007-05-28

2 碳酸盐岩烃源岩

碳酸盐岩既可作生油层,又可作储集层,即碳酸盐岩具生油层和储集层的双重特征。实际上作为生油层和储集层的碳酸盐岩形成于不同的沉积相带,生油层一般发育于低能环境,它们的泥质含量较重,而作为储集层的碳酸盐岩常发育于潮坪的高能环境,此外后期的风化、淋滤、改造及构造作用也可使碳酸盐岩成为储集层,尤其是构造裂缝或微裂隙常成为油气运移通道或重质油(包括各类沥青)的滞留空间。因此,碳酸盐岩易被外来沥青或自身早期残留沥青所充填,此现象在高、过成熟碳酸盐岩烃源岩中尤为普遍^[5]。

2.1 烃源岩原生性分析

碳酸盐岩原生性评价包括两方面内容:一是烃源岩有机质原生性识别,确定有效烃源岩;二是原始地化分析数据的原生性识别,以便选取真正有代表性的烃源岩地化特征参数^[5]。湘中坳陷受构造运动的作用,使之具多期多源叠加的特点,致使碳酸盐岩烃源岩有机质原生性受到影响,给烃源岩生烃能力的评价带来了困难。碳酸盐岩演化程度一般达到高、过成熟阶段,表明油气经历了长时期的演化过程;风化溶蚀、溶孔带(如风化壳)及岩石裂隙普遍存在;沉积的碳酸盐岩层厚度大,重质沥青或油不易排出;高、过熟天然气沿膨胀裂隙向上运移过程中携入大量外来沥青(运移沥青)并滞留于途中。上述因素造成碳酸盐岩烃源岩生烃能力评价以及资源量估算的可靠性降低^[6]。

Peters 和 Moldowan^[7]根据前人的研究,总结出四种源岩原生性的判别方法:①有机质的转化率和产率与干酪根成熟度是否一致;②抽提物与干酪根成熟度(CPI 和 R_o) 是否一致;③抽提物与干酪根同位素是否匹配;④抽提物生标物与干酪根热解产生的生标物是否相似。由于湘中坳陷烃源岩演化程度高,故我们从岩性资料和热解数据入手来分析烃源岩的原生性。统计结果表明,未识别前的统计值与在去掉污染样品后的统计结果和最初的统计结果的偏差值相比偏高许多,最大差值可达 0.079%。

2.2 有机质丰度及分布

2.2.1 有机质丰度

湘中地区各层系烃源岩的有机质丰度一般在

0.28%~0.66%之间,但在不同的区域和层位有较大的变化。以有机碳含量大于 0.2%作为碳酸盐岩烃源岩的下限^[5],全区碳酸盐岩样品烃源岩有机碳丰度,以下三叠统为最高,平均 0.66%,达到好生油岩标准;其次为下石炭统和上泥盆统,分别是 0.57%和 0.51%,属较好烃源岩;再次为下二叠统、中泥盆统和中上石炭统,依次为 0.39%、0.33%、0.28%,为较差烃源岩类。

在平面上,全区有机质丰度以涟源凹陷为最高,其碳酸盐岩有机碳平均含量为 0.58%,泥质岩有机碳平均含量为 1.56%;其次为邵阳凹陷,有机碳平均含量分别为 0.52%和 1.33%;最差为零陵凹陷,分别为 0.43%和 1.37%。

2.2.2 有效烃源岩平面分布

本区采用各层位烃源岩样品的有机碳含量达标率与该层位烃源岩总厚度的乘积作为烃源岩的有效厚度(图 2)。有效烃源岩累计总厚达 2270 m。其中涟源凹陷有效烃源岩的累计厚度最大,达 1890 m;其次为邵阳凹陷,累计厚 1520 m;厚度最小的是零陵凹陷,仅 860 m。从层位上来看,有效烃源岩厚度最大的层位是下石炭统,全区按面积加权的平均厚度为 546 m。

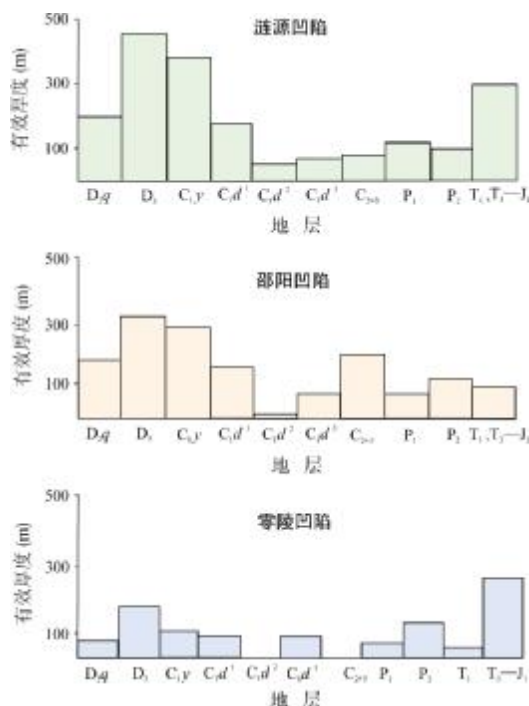


图 2 湘中地区烃源岩有效厚度分布直方图

D₄ 棋梓桥组; C₄Y 岩关阶组; C₄d¹ 石磴子组;
C₄d² 测水组; C₄d³ 梓门桥组

2.3 有机质类型

2.3.1 干酪根的形态特征

经电镜扫描,本区各层位样品干酪根为泥型—偏泥型(表1)。从表中可以看出,中泥盆统棋梓桥组(D₂q)的样品,多数为腐泥型,仅零陵凹陷见有腐殖—腐泥型,是湘中地区烃源岩有机质类型最好的层位。本区碳酸盐岩烃源岩大多数都为混合型干酪根。

表1 湘中地区干酪根电镜形态定型一览表

层位	区域		
	涟源凹陷	邵阳凹陷	零陵凹陷
上三叠统—下侏罗统(T ₃ —J ₁)			Ⅲ
下三叠统(T ₁)		Ⅱ ₁	Ⅱ ₁
下二叠统(P ₁)	Ⅱ ₁	Ⅱ ₁	
中—上石炭统(C ₂₊₃)	Ⅱ ₁	Ⅱ ₁	
石磴子组(C ₁ d ¹)	Ⅱ ₁	Ⅱ ₁	Ⅱ ₂
岩关阶组(C ₁ y)	Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ
锡矿山组(D ₃ x)	Ⅲ—Ⅱ		Ⅱ
余因桥组(D ₃ s)	Ⅱ	Ⅱ ₁	Ⅱ ₁
棋梓桥组(D ₂ q)	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ ₁

注:Ⅰ:腐泥型;Ⅱ:混合型(Ⅱ₁:腐殖—腐泥型,Ⅱ₂:腐泥—腐殖型);Ⅲ:腐殖型。

2.3.2 族组分特征

主要选用族组分中饱和烃/芳烃的比值来确定烃源岩的有机质类型,一般认为,比值大于2则为Ⅰ型,小于1则为Ⅲ型,1~2之间的为Ⅱ型。以这一标准来确定各层位烃源岩的有机质类型,其结果与上述干酪根电镜形态定型基本吻合。

2.3.3 色谱特征

用色谱资料分析烃源岩有机质类型所用的指标有:Pr/Ph、Pr/nC₁₈、碳数分布范围、主峰碳数、低碳与高碳之比。用这种标量的判别结果,与上述干酪根形态和族组分的鉴定结果基本相同。

从上述三项指标所确定的各层位烃源岩有机质类型来看,以中泥盆统棋梓桥组的为最好,主要为Ⅰ型。

3 有机质成熟度与热演化

3.1 研究方法

3.1.1 古地温恢复方法

镜质体反射率R_o作为有机质成熟度的鉴定标

志,其变化除受热作用程度的控制外,还受热作用时间长短的控制。本文在恢复古地温时采用TTI拟合计算法。先用现今实测静温与深度的关系曲线求出今地温梯度,根据已知典型井的埋藏史,用现今地温梯度计算各层底界现今埋深处的I_{tm}值,然后根据I_{tm}与R_o的相关关系求出R_o值。将计算出的R_o值作R_o—H关系曲线并与该井实测R_o—H关系曲线比较。改变今地温梯度重复上述计算,直至计算出的曲线与实测R_o—H曲线逼近,此时的地温梯度即为古地温梯度。湘中坳陷的古地温梯度为3.4℃/100m。

3.1.2 热演化史研究

成烃演化史是研究油气成藏过程的关键,其模型建立在对埋藏史恢复的基础上。在研究单井各层埋藏史的基础上,根据R_o—H关系求得的R_o值和计算出的I_{tm}值,建立R_o和I_{tm}的关系式,通过此关系式再将I_{tm}值换算成R_o值,进而编制出各层在不同时期的R_o等值线图和研究区成烃演化史(图3)。

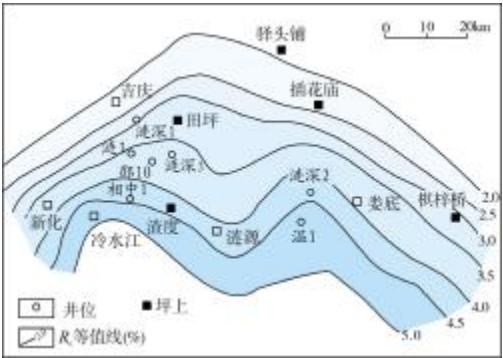


图3 涟源凹陷石炭系岩关阶R_o等值线图

3.2 热演化史分析

在利用地层剥蚀厚度恢复样品古埋深后,综合分析各项地球化学指标,得出本区R_o=0.6%为有机质的成熟门限,R_o=1.20%为生油高峰期的上限,R_o=1.30%~2.0%为高成熟、凝析油与湿气阶段,R_o>2.0%为裂解气和干气阶段,其对应的深度分别为1000m、2700m、3100m、5100m。根据本地区各井的现今地温数据,通过TTI法拟合计算,建立该区I_{tm}—R_o的关系式为:

$$\log R_o = -0.30903 + 0.12842 \log I_{tm}$$

根据计算出的各层段不同时期的I_{tm}值,通过I_{tm}—R_o关系式得到了该区主要层段各沉积时期的R_o。

值。由这些 R_o 值可以了解不同层位在不同时期有机质的热演化过程,即有机质的成烃演化史。

全区不同层位的平均 R_o 值随地层时代变老而增高,如 D_2-C_1 的 R_o 值一般都大于 2.5%, 已处于过成熟阶段。 P_2 的 R_o 值一般在 1.85% ~ 2.29% 之间, 还处在高成熟期。而 T_3-J_1 的 R_o 值还仅在 0.789% ~ 0.963% 之间, 刚达生油高峰时期 (图4)。

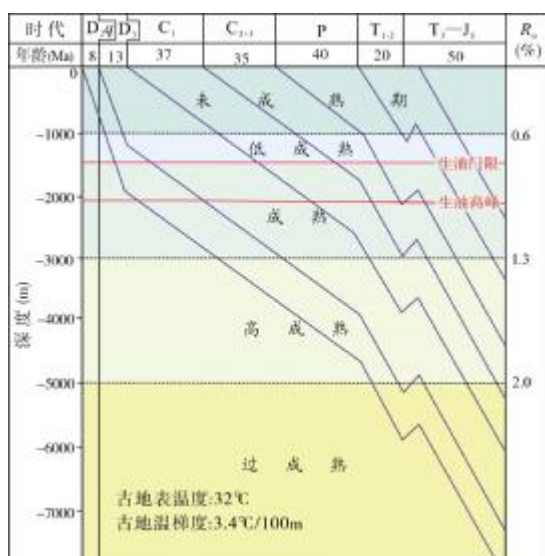


图4 湘中坳陷地层埋深与烃源岩演化

4 生排烃模式

傅家谟、郝石生、程克明等^[8-10]都从不同的角度研究了海相碳酸盐岩烃源岩成烃演化特征,指出碳酸盐岩有机质具有差异演化和“三段式”生烃的特点,表现在成烃演化较其他岩类具有迟滞效应和不同赋存形式有机质之间演化的差异,即原始沥青解聚成烃、干酪根降解成烃和包裹有机质释放成烃,它们分别主要出现于未—低成熟阶段、成熟阶段和高成熟阶段。而天然气形成于两个方面,一是进入高成熟阶段后干酪根热裂解;二是已形成的各类液态烃在高温下裂解。总体称之为“热裂解气阶段”。因此,碳酸盐岩有机质的演化过程可分为四个阶段,即“三段式”成烃和热裂解气生成。

由于下古生界海相碳酸盐岩中缺乏陆源镜质组,因此沥青反射率成为人们关注的焦点。Jacob、丰国秀、刘德汉^[11-13]及郝石生等^[9]认为,镜质组反射率 (R_o) 可以反映有机质的演化程度。湘中坳陷上古生界碳酸盐岩烃源岩的成烃演化以 $R_o=0.6\%$,

1.30%, 2.0% 划分为三种成烃方式——“三段式”成烃带和热裂解气阶段,一共四个成烃阶段 (图5)。

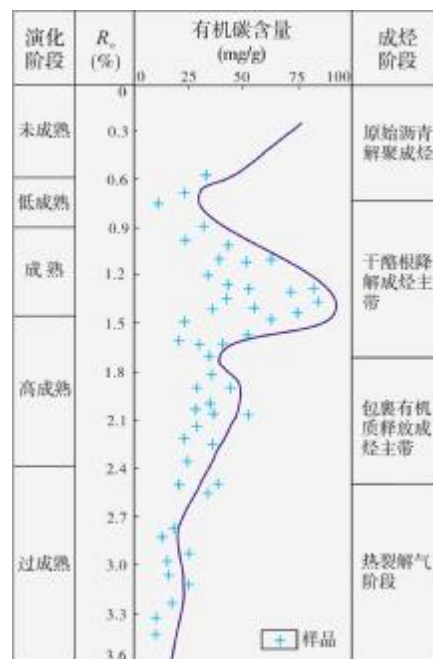


图5 湘中坳陷烃源岩演化模式

第一成烃阶段为碳酸盐岩的早期成岩作用阶段,相应 R_o 为 0.20% ~ 0.60%, 有机质处于未成熟—低成熟阶段。来源于海洋生物(主要为浮游藻类和浮游动物)的有机质,可能由于碳酸盐矿物对类脂物分子聚合作用的抑制,沉积—成岩早期形成的分子量和分子交联度较低的地质大分子,可以直接通过解聚的方式形成解聚沥青(未成熟石油)。

第二成烃阶段为碳酸盐岩成岩作用晚期, R_o 值约为 0.60% ~ 1.30%。碳酸盐烃源岩干酪根在热力作用下开始大量降解生烃,属正常的干酪根热降解生烃阶段,生烃主峰 R_o 为 1.20%。

第三成烃阶段从 $R_o=1.30\%$ 开始至大约 $R_o=2.0\%$ 止,属岩石的深成岩阶段和变生作用初期,相当于高成熟阶段。这一阶段干酪根的生烃潜力大部分已经耗尽,主要由包裹有机质和部分束缚有机质继续提供烃类来源,导致碳酸盐岩在高成熟阶段仍能出现次要液态烃生成高峰,同时在干酪根和已生液态烃的热裂解作用下气态烃也大量形成,但可能由于包裹有机质含量低而多呈气态烃产出。

第四成烃阶段为热裂解气阶段,主要处于过成熟阶段,但在高成熟阶段也存在液态烃和干酪根的

热裂解作用而形成湿气。过成熟阶段主要为残余干酪根的热裂解以生成高温甲烷气为特征。

5 结 论

(1) 湘中坳陷碳酸盐岩烃源岩具有四个阶段的成烃特征,即原始沥青解聚成烃、干酪根降解成烃、包裹有机质释放成烃及热裂解气生成。

(2) 作为烃源岩评价和研究工作的基础,碳酸盐岩有机质原生性的识别直接影响着生烃能力评价结果的可靠性。

(3) 湘中坳陷具有形成大气藏的物质基础。

参 考 文 献

- [1] 金春爽,乔德武. 浅谈盆地热历史及烃源岩热演化研究在中国油气资源战略选区调查评价中的意义[J]. 地质通报, 2006,(10)2: 9-10.
- [2] 梁狄刚,张水昌,张宝民,等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 534-547.
- [3] 田文广,姜振学,庞雄奇,等. 岩浆活动热模拟及其对烃源岩热演化作用模式研究[J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(1): 12-16.
- [4] 王东良,张君峰,刘宝泉,等. 青藏高原海相烃源岩生排烃模式[J]. 石油勘探与开发, 2001,(28)4:14-16.
- [5] 卢庆治,马永生,郭彤楼,等. 鄂西—渝东地区热史恢复及烃源岩成烃史[J]. 地质科学, 2007,42 (1):189-198.
- [6] 李延钧,陈义才,徐志明,等. 低丰度高演化海相碳酸盐烃源岩有机质原生性研究[J]. 沉积学报, 2000,(18)1:146-150.
- [7] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide, interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1993: 190-210.
- [8] 傅家谟,贾蓉芬,刘德汉,等. 碳酸盐岩有机地球化学[M]. 北京:科学出版社,1989.
- [9] 郝石生,高岗,刚文哲,等. 高过成熟海相碳酸盐岩[M]. 北京:石油工业出版社,1996:101-108.
- [10] 程克明,王兆云,钟宁宁,等. 碳酸盐岩油气生成理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社,1996:29-95.
- [11] Jacob H. Disperse solid bitumens as an indicator for migration and maturity in prospecting for oil and gas[J]. Erdol & Kohle Erdgas Petrochemie, 1985,38(3):365.
- [12] 丰国秀,陈盛吉. 岩石沥青的反射率与镜质体反射率的关系[J]. 天然气工业,1986,8(3):20-25.
- [13] 刘德汉. 碳酸岩中沥青在研究油气生成演化和金属矿床成因中的应用[C]. 北京:科学出版社,1996.

编辑:金顺爱

Characteristics and Hydrocarbon Generation Model of Upper Paleozoic Carbonate Source Rocks in Xiangzhong Depression

Liu Xishun

Abstract: The Lower Paleozoic carbonate source rocks are thick and wide-distributed in Xiangzhong Depression so it is one of potential prospecting areas in southern China. Result of outcrop observation and sample analysis show that the source rocks mainly consist of argillaceous limestone, marl and limestone with high values of TOC and R_o . Organic matter is mainly Type- I kerogen. Analysis of thermal evaluation of the source rocks demonstrate a model of hydrocarbon generation as following four stages: asphalt disaggregation (immature-low mature stage), kerogen degradation(mature stage), organic inclusion release(high mature) and thermal prolysis gas(overmature stage).

Key words: Early Paleozoic; Carbonate rock; Source rock; Thermal evolution of organic matter; Model of hydrocarbon generation; Xiangzhong Depression

Liu Xishun: male, Doctor degree in progress at College of Geology and Environment Engineering, Center South University, Changsha, Hunan, 410083 China