

文章编号: 1009-3850(2004)02-0096-05

沉积有机相的研究现状及其应用

李君文, 陈洪德, 田景春, 侯中健

(成都理工大学 沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 沉积有机相是近年来国内外广泛运用于油气勘探的一种有效的研究方法。本文介绍了沉积有机相的概念、划分方案, 及其在油气勘探、盆地分析和层序地层学中的应用, 指出了沉积有机相与层序地层分析相结合对油气资源评价和预测烃源岩有广阔的发展前景。

关键词: 沉积有机相; 油气勘探; 层序地层学; 烃源岩

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

随着油气勘探和有机质成烃理论研究的深入, 从某一学科的独立研究, 远远不能评价沉积盆地生烃潜力的需要, 而必须开展多学科的交叉渗透、综合。于是有机相应运而生^[1]。Rogers(1971, 1979)首次提出有机相的概念, 之后关于有机相的研究越来越受到重视, 并将有机相的概念扩大为沉积有机相, 迅速成为石油有机地球化学研究的一个新领域^[1-3]。目前研究已经认识到沉积环境对原始有机质的性质有重要影响, 有机质沉积环境的优劣可以反映在有机相上。然而不同学者对有机相概念的理解、使用范围和划相指标不尽相同。同时, 由于沉积有机相在油气勘探、盆地分析及油气资源评价中的应用日趋广泛, 所以有必要对沉积有机相加以研究。笔者主要从沉积有机相的概念、相的划分及应用三方面来说明它的研究现状及其发展趋势。

1 沉积有机相的概念

沉积有机相的概念是由有机相的概念演化而来的, 而对于有机相的定义, 不同的学者对它的理解不完全相同。下面根据有机相定义的侧重点不同来说明其概念的提出。Rogers 主要强调生物与环境, 他

认为: 有机相类似沉积相, 它可以跨越时间, 不受地层或岩石单位的限制, 有机质含量、来源和沉积环境是确定有机相的必要条件^[1]。与此同时, 一些学者着重从有机质的角度, 采用孢粉相(Batten, 1981)、干酪根相(Barnard 等, 1981; Scotchman, 1991)等类似概念和术语用于有机相的研究^[1]。Jones 等强调了有机相是空间上具有相同有机质特征的特定沉积体, 并将有机质的产烃潜力、地球化学特征和有机质的原始输入量与沉积环境和岩石学特征联系在一起, 建立了 A-D 七个有机相^[4]。郭迪孝等(1989)把生油层的有机、无机特征作为一个总体加以研究, 它将有机相称为沉积有机相, 并且把它定义为: 有机相似沉积环境、生物组合、成岩环境、氧化-还原条件以及相近有机质特征的地层单元^[2]。关于这方面的研究还有很多, 有的与沉积相联合命名^[5]; 有的依据可溶有机质和干酪根的碳同位素值进行研究(黄籍中, 1988); 有的从有机质丰度、类型及所处成熟阶段等方面进行综合分析研究(黄籍中, 陈盛吉, 1991); 有的赋予有机相成因意义^[6]。

从上述有机相的定义可知其概念十分复杂, 其中影响较大的是 Jones 定义的有机相, 它不仅将有

机岩中的有机成分及展布特征揉合在一起,而且突出了沉积岩体在横向和纵向上的变化与联系。然而该定义没有考虑沉积岩的无机面貌。郭迪孝比较全面地定义了沉积有机相。我国陆相油气勘探实践表明,有机相和沉积相是密切相关的。因此将有机相的概念扩大为沉积有机相可以更好的反映沉积地层中有机质的成因特征,使研究内容愈加丰富和深入。

2 沉积有机相的划分

沉积有机相的划分目的是为了了解某一烃源岩沉积地质体的油气生成条件及其在盆地填充序列中的位置和空间上的展布特征^[7-10]。然而因对“有机相”概念理解不同,而存在不同的划相指标。Rogers和Koons(1977)使用抽提物中C15正构烷烃分布特

征划分出“海成有机相”和“陆成有机相”。Jones和Demaison(1982)将产烃能力、有机化学、早期成岩环境、沉积学和原始有机质输入量结合起来,建立了A—D七种有机相类型(表1)。

Demaison等(1984)提出了缺氧盆地概念,进一步揭示了沉积环境与有机质数量、质量的联系,并划分了4类有机相,用于生油层的预测^[11]。此外,Rogers(1980)利用饱和烃和芳香烃的碳同位素和气相色谱特征划分有机相。

我国学者在有机相研究方面也进行了积极的探索。朱创业(2000)根据沉积环境、生物组合、成岩环境、氧化-还原条件以及有机质的成因特征,提出了海相碳酸盐岩沉积有机相的分类方案(表2)^[11]。金奎勋等根据沉积学、组分组合和地球化学三大标

表1 有机相的定量划分^[4]

Table 1 Quantitative classification of organic facies

有机相	H/C ($R^o \approx 0.5\%$ 时)	热解产量		主要有机质
		HI	OI	
A	≥ 1.45	> 850	10—30	藻、无定形
AB	1.35~1.45	650~850	20~50	无定形、少量陆源组分
B	1.15~1.35	400~650	30~80	无定形、普遍含陆源组分
BC	0.95~1.15	250~400	40~80	混合陆源,一定氧化作用
C	0.75~0.95	125~250	50~150	陆源组分为主,一定氧化作用
CD	0.60~0.75	50~125	40~150	氧化、再改造的
D	≤ 0.6	< 50	20~200	高度氧化、再改造

表2 海相碳酸盐岩沉积有机相类型^[11]

Table 2 Types of the sedimentary organic facies in marine carbonate rocks (after Zhu Chuangye, 2000)

有机相 相标志	E	A	B	C	D
沉积环境	盆地、深水陆棚	台地边缘滩、礁相、斜坡	开阔台地	局限台地	蒸发台地
生物组合	浮游生物	珊瑚、腕足、棘皮	软体动物、腕足、藻类	藻类、腹足类、有孔虫、介形虫	藻类
成岩环境	深埋藏成岩环境	海水成岩环境、大气淡水成岩环境	浅埋藏成岩环境、海水成岩环境	浅埋藏成岩环境、海水成岩环境	海水成岩环境、大气淡水成岩环境
氧化-还原条件	还原	弱还原-弱氧化	弱氧化	还原	强还原
有机质来源	浮游生物、疑源类	生物碎屑、造礁生物	底栖生物、藻类	底栖生物、藻类、陆生植物碎屑	藻类
有机碳含量/%	0.2~0.5	< 0.1	0.1~0.2	0.1~0.3	0.04~0.3
母质类型(据显微组分指标)	腐泥型	腐泥型	腐泥型、混合型	腐泥型-混合型	腐泥型
干酪根类型(据化学组分指标)	I型	I型、II型	I型、II型	I型、II型	I型
主要产物	油	少量油气	油、气混合	油、气混合	气

志划分了陆相烃源岩沉积有机相(表 3)^[12]。郭迪孝等依据沉积环境、有机质类型、含量的 4 类 5 型来划分沉积有机相^[2]。张刚(1991)利用生物标志物对有机相进行划分^[13]。另外,郝芳等^[7]、陈安宁等^[14]、李华东等^[15]、郜建军等^[16]也提出了各自的有机相类型划分方案。

从上述有机相划分可知,大多数学者对有机相的划分自成系统,没有统一的标准,且各分类方案都有自己特点。其中 Jones 等(1982)的划分方案应用较广泛,这是由于他描述的有机相强调的是地质体在空间上的变化与联系,划分标志明确,相类型具体。朱创业(2000)的划分方案在生产实践中可有效地评价烃源岩的生烃潜力及预测烃源岩的分布规律,较为适用于海相环境。金奎励的划分方案直接用干酪根元素数据确定干酪根类型,仅适用于未成熟或低成熟的干酪根,但这样划分的沉积有机相带是在一定沉积环境下形成的给定地层后可制图的有机单元,故它可以直接编入古地理图,为油气资源评价和进一步工作打下基础。

3 沉积有机相的应用

沉积有机相是近十余年来在海洋学、沉积学、微生物学、有机地球化学和有机岩石学多学科基础上发展起来的,因此其应用越来越广泛。目前,沉积有机相主要应用在油气勘探和盆地分析、层序地层学等方面。

3.1 在油气勘探和盆地分析中的应用

1. 预测油气源岩

根据已知区的有机相层序和有机相类型与沉积环境的关系,并结合有机相分析得出的未知区的沉积环境及沉积体系的时空配置,可以合理的预测整个盆地或其次级构造单元的主力生油层位及其分布^[7]。

2. 预测各生油层位的排烃期和排出产物的组成

源岩的排烃期和排出产物的数量和组成是有机质含量、类型和成熟度综合作用的结果,而有机质成熟度取决于热力条件(温度+有效受热时间)及由有机质的生源和沉积-成岩改造过程所决定的有机质的活化能(郝芳、陈建渝,1991,1992)将有机质丰度和类型结合起来,根据干酪根成因类型确定的每一种有机相具有一定的活化能和生烃潜能,因此在一定的热力条件作用下,生成一定量的具有一定组成的烃类。所以说,有机相分析是预测排烃期及从源岩中排出和进入圈闭的石油的组成的有用工具^[7]。

3. 油气源岩评价

沉积有机相的划分是建立在能反映有机质形成与热演化过程的各项识别标志上,它是形成条件相似且具有相同有机质特征的地层单元,这是沉积有机相分析用于评价油气源岩的科学依据。

Rogers(1979)等最早应用有机相评价了萨克拉门托盆地、洛杉矶盆地、墨西哥湾、加拿大近海大砂洲生油岩,并指出有机相评价生油岩的重要性在于:①有机相控制着各种生油开始生成烃类的成熟度界线;②有机相反映所见石油类型的变化;③有机相可用于表示沉积单元的特性并有助于原油与生油岩对

表 3 陆相烃源岩有机相特征^[12]

Table 3 The interpretation of the organic facies in continental source rocks (after Jin Kuili et al., 1998)

沉积有机相 划相指标	1	2	3	4
组分组合类型	IV组合	III组合	II组合	I组合
母质来源	高等植物	高等植物为主	高等植物叶片残体	低等生物为主
水动力条件	潜水面以上	潜水面以下	潜水面以下、流水	深水
氧化还原性	氧化	氧化-还原	还原	强还原
H/C 原子比	< 0.95	0.95 ~ 1.15	1.15 ~ 1.40	> 1.40
IH/mg·g ⁻¹ (Corg)	< 125	125 ~ 200	200 ~ 400	> 400
S ₁ +S ₂ /mg·g ⁻¹	< 50	50 ~ 200	200 ~ 300	> 300
对应的有机质类型	III	II ₂	II ₁	I
沉积环境	山麓冲积	冲积-湖泊	湖泊、沼泽	浅湖-深湖
生烃性	生气	生气、生油	生油为主、少量生气	最好生油岩
Jones 有机相	D, CD	C, BC	BC, B	B, AB, A

比;④在其它条件如有机质含量和成熟度相似的情况下,了解有机相有助于原油和天然气作经济上的有效区别;⑤应用有机地层学原理,能合理的绘制沉积盆地中生油层和油气层的分布与变化的预测图件。

我国地质工作者在应用有机相进行沉积盆地含油气远景评价方面也取得了良好的效果。陈安宁等(1987)将沉积相、生物相、有机地球化学结合起来,作为一个整体研究,建立了沉积有机相,评价鄂尔多斯地上古生物界煤系地层的生烃潜力,并指出不同的沉积-有机相带单位面积的生烃量和生烃过程都不同,生烃贡献最大的是海湾-潟湖含草本木本相及滨海沼泽木本相生烃贡献中等;河流-三角洲木本相贡献较小,且生烃高峰期较晚或者没有明显的生烃高峰期。这一规律的认识,无疑会提高油气资源评价的精度。

郭迪孝、胡民(1989)对我国陆相盆地进行了沉积有机相分析,指出我国的白垩系、第三系的前景要比三叠纪、侏罗纪大得多,前者以产油为主,后者以产气为主。显示我国中、新生代盆地油气资源分布的不均衡性³⁾。

姚素平等(1995)依据显微组分的有机岩石学和地球化学的双重属性将准噶尔盆地和吐鲁番哈密盆地侏罗纪煤系划分为4种沉积有机相类型。其中森林沼泽有机相和流水沼泽有机相是主要的生烃有机相,森林沼泽有机相是煤型气的主要源区,并具有较高的生油潜力,流水沼泽有机相则是煤成油的主要源区¹⁷⁾。

彭立才等(2000)据柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩的有机岩石学、沉积学和有机地球化学特征将烃源岩的沉积有机相划分为四种类型,即高位泥岩沼泽有机相、森林泥碳有机相、滨浅湖有机相、半深湖—较深湖有机相,指出半深湖—较深湖有机相生烃性最好,森林泥碳有机相其生烃性较差,以生气为主,高温泥炭沼泽有机相生烃能力较差,以生气为主¹⁸⁾。

4. 盆地中心迁移方面的应用

虽然厚度分析法和沉积学分析可以反映沉降中心的迁移,但是由于它们的应用具有一定的局限性,所以用有机相层序分析法分析沉降中心的迁移更为重要。有机相层序依次由下降型过渡为升降型和上升型,其中下降型反映沉积成岩过程中有机质的保存条件由好变差,上升型反映有机质的保存条件由差变好,升降型为二者之间的过渡关系,这种有机相

层序的组合型式可以清楚的反映出沉降中心的迁移规律。尤其在以下两种情况,有机相层序的对比分析及空间组合型式的研究成为识别沉降中心迁移的有效途径⁷⁾。一是盆缘的砂岩易遭受侵蚀且沉积特征易受物源供应和一些局部因素的影响;二是准确的剥蚀厚度恢复和古水深校正难以实现,并且在一些盆地中,沉降中心的迁移仅限于深水区,极为影响粗粒沉积岩的沉积特征,并未引起地层厚度的明显差异。

3.2 在层序地层学中的应用

根据不同的沉积有机相类型和沉积岩相,再综合一些生物地层资料,可以进一步修正层序地层格架。一个沉积层序内的每个体系域都受海进或海退的滨线位置的影响¹⁹⁾,从而也受到陆源物向陆架输入的速率和有机质类型及其保存条件的影响;利用由这些影响得到的资料可推测有机相特征。另外,层序分析的关键是对层序界面的识别。从盆地边缘到盆地中心,层序界面从不整合面过渡到整合面,其中不整合面可以根据地震反射结构,测井曲线和岩芯加以识别;而整合界面的层序界面上、下可能均为细粒泥质沉积,地震剖面测井曲线对界面均无明显的响应。由于整合界面间的有机质含量、类型、有机碳含量的差异性,以及氧化-还原条件的不同。此时,沉积有机相分析则成为准确确定层序界线的唯一的有效的途径⁷⁾。

4 沉积有机相的发展趋势

沉积有机相是对岩石学、有机地球化学、无机地球化学的沉积环境的综合反映,其空间配置无疑受含油气盆地中层序地层格架的控制。因此,从层序地层学的角度研究沉积有机相在含油气地上的纵向充填系列及变化规律、有机质类型及含量变化、有机地化及无机地化参数变化既能反映不同沉积体系域的变化,又能反映不同类型的有机相旋回。所以将沉积有机相分析与层序地层分析相结合可以弥补仅依据数量有限的有机地球化学参数的统计进行油气资源评价的不足,而且还可以有效地预测和确立三维空间内烃源岩的分布,这在油气源岩预测中是一种积极的尝试。朱创业(2000)在对鄂尔多斯盆地奥陶统马家沟组碳酸盐岩的研究表明,沉积盆地层序地层格架中不同的沉积体系具有不同的沉积有机相组合。因此将沉积有机相与层序地层学结合起来预测油气源区具有广阔的发展前景。

另外,气候变化可引起生物组合的变化,生物组

合不同影响有机质类型及含量,也可反映生态环境的变化。我国学者从沉积有机相角度研究盆地构造沉降和沉积过程进行初步尝试,但仍有待于提高和完善。

参考文献:

- [1] 程顶胜. 有机相在油气勘探中的应用[J]. 地质地球化学, 1996, (5): 59—62.
- [2] 郭迪孝, 胡民. 陆相盆地沉积有机相分析[A]. 石油与天然气地质文集(2)[C]. 北京: 地质出版社, 1989. 191—199.
- [4] 郝芳, 陈建渝. 沉积盆地中的有机相研究及其在油气资源评价中的应用[A]. 矿物岩石学论丛(9)[C]. 北京: 地质出版社, 1993. 101—109.
- [5] JONES R W. Organic facies [A]. Advances in Petroleum Geochemistry[C]. London: Academic Press, 1987, 2: 1—90.
- [6] 郝芳, 陈建渝. 层序和体系域的有机相构成及其研究意义[J]. 地质科技情报, 1995, 14(3): 79—83.
- [7] 郝芳, 陈建渝, 等. 有机相研究及其在盆地分析中的应用[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 77—86.
- [8] TYSON R V. Sequence stratigraphy in intertation of facies variations in marine siliciclastic system; general principles and application to the onshore kimmeridge clay formation, OK [A]. Hesselbo S P, Parkonson D N. Stratigraphy in British Geology [C]. London: Geo. Soc. Lond. Spec. Publ. 1996, 108: 75—96.
- [9] PETERSEN H I, ANDSBJERG J. Organic facies development within Middle Jurassic coal seams, Danish Central Graben, and evidence for relative sea-level control on peat accumulation in a coastal plain environment [J]. Sedimentary Geology, 1996, 106: 259—277.
- [10] TUWENI A O, TYSON R V. Organic facies variations in the Westlury Formation [J]. Organic Geochemistry, 1994, 21(10): 1001—1014.
- [11] 朱创业. 海相碳酸盐岩沉积有机相研究及其在油气资源评价中的应用[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2000, 19(1): 1—6.
- [12] 金奎励, 李荣西. 天然气地球科学[J]. 1998, 9(1): 23—29.
- [13] 张刚. 生物标志物地球化学在有机相研究中的应用[M]. 北京: 世界石油工业出版社, 1991.
- [14] 陈安宁, 耿国仓, 秦仲碧, 等. 鄂尔多斯地区上古生界煤系沉积有机相及成烃能力, 煤成气研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [15] 李华东, 王荣福, 吴心一, 等. 有机相在油气源岩与油气评价中的作用[J]. 石油实验地质, 1993, 15(2): 201—212.
- [16] 郜建军, 李明宅. 我国海相碳酸盐岩的有机相及其生油潜力[A]. 石油与天然气地质文集(4)[C]. 北京: 地质出版社, 1994: 65—77.
- [17] 姚素平, 金奎励. 用显微组分的双重属性研究沉积有机相[J]. 地质论评, 1995, 41(5): 525—532.
- [18] 彭立才, 杨慧珠, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩沉积有机相划分及评价[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 178—181.
- [19] 钱奕中, 陈洪德, 等. 层序地层学理论和研究方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 30—52.

Sedimentary organic facies: current research and applications

LI Jun-wen, CHEN Hong-de, TIAN Jing-chun, HOU Zhong-jian
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The analysis of sedimentary organic facies is an effective approach extensively used in the oil and gas exploration in recent years. The present paper focuses on the concepts and classification schemes, and their applications to oil and gas exploration, basin analysis and sequence stratigraphy. The integration of sedimentary organic facies and sequence stratigraphic analysis is expected to have important implications for the assessment of oil and gas resources and prediction of source rocks.

Key words: sedimentary organic facies; oil and gas exploration; sequence stratigraphy; source rock