

陆相断陷湖盆优质烃源岩 形成机制与成藏贡献 ——以济阳坳陷为例

侯读杰 张善文 肖建新 张林晔 著

LUXIANGDUANXIANHUPEN YOUZHI TINGYUANYAN XINGCHENGJIZHI
YU CHENGANG GONGXIAN

地质出版社

陆相断陷湖盆优质烃源岩 形成机制与成藏贡献

——以济阳坳陷为例

侯读杰 张善文 肖建新 张林晔 著

ISBN 978-7-116-05698-5



9 787116 056985 >

定价：40.00 元

陆相断陷湖盆优质烃源岩形成 机制与成藏贡献

——以济阳坳陷为例

侯读杰 张善文 肖建新 张林晔 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·



内 容 简 介

本书以济阳拗陷烃源岩研究为例,对陆相断陷湖盆中优质烃源岩的划分标准、地球化学特征、地球物理识别特征及优质烃源岩与构造位置、沉积特征和地震相的关系进行了综合分析;在此基础上,对优质烃源岩的成因及与海侵地质事件的关系,优质烃源岩的生排烃数值模拟和成藏过程地球化学示踪进行了分析研究;最终总结了勘探中后期烃源岩研究的思路与方法,并对优质烃源岩与隐蔽油气藏的成藏关系进行总结。在我国的济阳拗陷和松辽盆地均是大型陆相沉积湖盆,它们发育的优质烃源岩具有典型性和代表性;没有优质烃源岩,就没有胜利油田和大庆油田。因而济阳拗陷优质烃源岩的研究对我国陆相断陷湖盆和勘探中后期烃源岩的研究具有借鉴和指导意义。

本书内容丰富,观点新颖,既对国内外学科前沿进行了分析和介绍,又结合中国陆相盆地的实际对烃源岩的研究进行理论分析和实际应用的指导。因而本书对从事石油勘探、石油地质研究、能源地质、煤和油页岩地质研究的人员均具有参考价值,同时也可作为博士和硕士研究生学习的辅助参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

陆相断陷湖盆优质烃源岩形成机制与成藏贡献:以济阳拗陷为例/侯读杰等著. —北京:地质出版社, 2008. 6
ISBN 978-7-116-05698-5

I. 陆… II. 侯… III. 陆相-湖盆-含油气盆地-油气藏-研究-济阳市 IV. P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 083824 号

责任编辑:祁向雷 宋 元

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787 mm × 1092 mm^{1/16}

印 张:15.75

字 数:400 千字

版 次:2008 年 6 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:40.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05698-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)



前 言

济阳拗陷是中国东部具有典型意义的富油拗陷。经过 40 多年的勘探，目前已发现 33 个油田，探明石油地质储量 23.4×10^8 吨。目前该拗陷已进入较高勘探程度阶段，勘探的对象主要是以地层、岩性为主的隐蔽油气藏。在长期的勘探实践中，人们已总结出了一系列针对隐蔽油气藏勘探的理论和方法，并在油气勘探的应用中获得了极大的成功。但是由于陆相断陷盆地构造活动的多期性和复杂性，沉积演变的多旋回性，使得隐蔽油气藏勘探仍然面临着圈闭的隐蔽性和含油性两大问题的困扰。在目前勘探程度较高情况下，该拗陷还有多大的资源潜力？可能的剩余资源是如何分布的？下一步勘探方向在哪里？本地区油气富集成藏的规律如何？这些既是该拗陷进一步勘探找油亟须解决的问题，也是关系到我国陆相含油气盆地油气生成和富集成藏的重要问题。

对烃源岩的研究，经历了几次重大的变化过程；现在，一是要更加重视优质烃源岩的研究。过去的烃源岩研究，很重视分散有机质的研究，甚至将有机碳含量在 0.5% 左右的烃源岩也作为有效的烃源岩。对于优质烃源岩和有机质富集层的研究重视不够。多年来的勘探实践证明，优质烃源岩可能是油气生成的主要贡献者。二是，烃源岩的研究贯彻到勘探的各个阶段中。过去认为，在勘探后期不需要进行烃源岩的研究，而胜利油田的勘探实践证明，在勘探后期，对原油的主力烃源岩进行分析和研究，并对多套烃源岩进行分析对比，对于勘探后期隐蔽油气藏的勘探，剩余资源潜力的挖潜均具有重要的作用。三是，烃源岩的研究思路与方法发生了改变。过去对烃源岩的评价，主要着重于烃源岩的丰度、类型、潜力。而现今的烃源岩研究，应该结合物探和测井信息，对烃源岩的分布和空间展布进行更为准确的评价；同时，从油藏地球化学的角度，对已发现的油藏进行解剖，充分地提取烃源岩的信息，对原油的族群进行划分和研究。因而本研究工作也是对于勘探后期优质烃源岩研究的一种新的尝试。

对陆相断陷湖盆的烃源岩研究，由来已久。时至今日，是否还有必要？

笔者意见是, 烃源岩的研究, 应该贯穿于整个油气的勘探过程中。当然对不同油气勘探阶段, 烃源岩的研究的侧重点和思路与方法也应该完全不同。本研究通过对济阳拗陷不同烃源岩形成机理的研究, 可以较好地了解富集烃源岩沉积过程、主要控制因素以及空间展布状况, 为更可靠地评价区内的资源潜力打下良好的基础; 通过对有机质生物组成的详细解剖, 并结合相应的生排烃模拟实验, 能够更为客观地分析区内烃源岩成烃演化规律及生排烃特征, 进而评价其成烃潜力及对油气资源贡献的大小; 通过对富集烃源岩与分散有机质烃源岩在成烃母质、埋藏成岩过程的演化及生排烃特征的对比研究, 结合精细的油源对比, 可以更为客观地评价不同烃源岩的成藏贡献, 提高济阳拗陷不同烃源层生烃潜力分析的可靠性, 有利于定量评价不同区带的剩余资源潜力和预测有利勘探方向。

胜利油田的济阳拗陷是我国陆相沉积盆地中, 富集油气最好的地区。笔者到过国内许多油田和地区, 如果单从烃源岩的角度来看, 最好的优质烃源岩仅仅在松辽盆地和渤海湾盆地的济阳拗陷大量发现。我国最重要的两个油田——胜利油田和大庆油田即位于这两个地区。如果你有机会看看这两个地区的烃源岩, 你就会理解为什么会有这样的大油田。沿着前辈的足迹, 在这两个富集油田的地区, 做点深入细致的烃源岩研究工作, 一直是笔者的心愿。在胜利油田诸多领导的大力支持下, 我们能有幸参与了该地区的研究工作。

本研究的完成, 不仅对评价济阳拗陷的资源潜力及寻找进一步的勘探方向具有重要的现实意义, 而且可为今后对其他陆相断陷盆地的分析提供技术储备, 积累研究经验, 有利于胜利油田乃至整个陆相断陷湖盆的油气勘探向其他地区乃至国外拓展。此外, 通过本研究在优质烃源岩形成机理及成藏贡献方面的探索, 将对陆相湖盆中有机质富集层的沉积环境、沉积方式和形成机制等机理性问题, 以及陆相盆地烃源岩评价方法有进一步的理解。济阳拗陷作为一个大型沉积盆地, 尽管与松辽盆地白垩系的沉积特征有所差异, 但作为古近纪和新近纪沉积的典型陆相盆地, 其沉积和源岩演化特征在我国具有代表性。因而, 笔者愿意以该拗陷作为陆相断陷沉积盆地的代表, 将三年来与胜利油田的研究人员共同合作的成果, 抛砖引玉, 与大家共同讨论。文中可能存在很多不足, 敬请各位读者批评指正。

本书共分十三章, 其中前言, 第一章, 第二章, 第三章, 第六章, 第七章, 第十章, 第十一章, 第十二章, 第十三章由侯读杰执笔, 张海全、程顺

国、龙祖烈等参与了部分研究工作；第八章，第九章由张善文、张林晔执笔，刘庆，王广利参与了部分研究工作；第四章和第五章由肖建新和程顺国执笔。全书由侯读杰、张善文最终定稿完成。

在本研究工作中，得到胜利油田有限公司宋国奇教授级高工的指导和帮助，同时也得到了地质科学研究院隋风贵院长，王永诗总师、邱桂强总师、许兴有高工，林会喜高工，石砥石高工，郝雪峰高工；勘探项目管理部勘探处吕希学处长，肖焕钦、宋明水等专家的大力支持和帮助。同时，也特别感谢我的同事邓宏文教授、樊太亮教授、田世澄教授、姜在兴教授、张金川教授、陈开远教授、于兴河教授、刘大锰教授、汤达祯教授、黄文辉教授、李治平教授、王红亮副教授、王晓东副教授等在工作与生活中的帮助。有关的地球化学测试工作分别在中国地质大学（北京）、中国石油大学（北京）以及胜利油田地质院地球化学室和华北油田勘探开发研究院地球化学室完成。值此书出版之际，笔者向所有曾给予笔者关心、帮助、支持的各位领导专家、同事、朋友以及家人，致以真挚的谢意！

本专著在完成和编写过程中得到了教育部重点项目 10404 的部分支持，特此感谢。

侯读杰
中国地质大学（北京）
houdujie@263.net
hdj@cugb.edu.cn

目次

前 言

第一章 优质烃源岩国内外研究现状	(1)
第一节 优质烃源岩的概念	(1)
第二节 优质烃源岩国外研究现状	(2)
第三节 优质烃源岩国内研究现状	(7)
第四节 勘探程度较高盆地优质烃源岩的研究思路与方法	(8)
第二章 优质烃源岩与有机质富集层划分标准的建立	(13)
第一节 优质烃源岩划分的意义	(13)
第二节 常规烃源岩标准的建立	(13)
第三节 优质烃源岩划分标准的建立	(14)
第四节 优质烃源岩和有机质富集层划分标准的建立	(16)
第三章 不同层段形成优质烃源岩的地质地球化学特征	(21)
第一节 区域构造和沉积演化地质特征	(21)
第二节 济阳坳陷古近系烃源岩地质地球化学特征	(24)
第四章 优质烃源岩和有机质富集层的地球物理识别特征	(32)
第一节 应用测井技术研究烃源岩的现状	(32)
第二节 烃源岩的测井响应	(32)
第三节 烃源岩的性质	(35)
第四节 烃源岩的测井响应模型	(36)
第五节 牛庄洼陷烃源岩评价	(42)
第六节 沾化凹陷烃源岩评价	(48)
第七节 其他井的总体评价	(54)
第五章 烃源岩和有机质富集层的空间展布	(57)
第一节 优质烃源岩类型	(57)
第二节 优质烃源岩分布与构造坡折带的关系	(62)
第三节 优质烃源岩分布与沉积相和层序的关系	(66)
第四节 优质烃源岩分布与地震相的关系	(71)

第五节 优质烃源岩的发育模式	(75)
第六章 优质烃源岩和有机质富集层的成因	(76)
第一节 优质烃源岩的非均质性	(76)
第二节 优质烃源岩生物标志化合物与成因特征	(86)
第三节 优质烃源岩发育的控制因素	(94)
第七章 海侵事件与优质烃源岩的形成	(98)
第一节 遗迹化石特征与意义	(99)
第二节 济阳坳陷烃源岩的地球化学特征	(102)
第三节 沉积环境与沉积序列	(116)
第四节 湖平面的变化与烃源岩的形成	(117)
第五节 海侵事件与烃源岩形成	(119)
第八章 东营凹陷优质烃源岩成藏贡献典型解剖	(122)
第一节 烃源岩和单体烃碳同位素特征	(122)
第二节 烃源岩成油贡献	(123)
第三节 典型油气藏分析	(125)
第九章 沾化凹陷优质烃源岩成藏贡献典型解剖	(134)
第一节 渤南洼陷	(134)
第二节 孤南洼陷	(139)
第三节 典型油藏解剖——以孤岛油田为例	(146)
第十章 优质烃源岩生排烃数值模拟	(167)
第一节 优质烃源岩生烃热模拟实验研究	(167)
第二节 生烃模式	(169)
第三节 盆地模拟生排烃作用	(171)
第十一章 优质烃源岩成藏过程的地球化学示踪	(188)
第一节 从原油中提取生源母质的地球化学指纹	(188)
第二节 油源对比	(196)
第三节 烃源岩的充注度与原油成藏	(199)
第四节 应用含氮化合物进行石油运移的示踪	(201)
第五节 油气藏成藏模式	(203)
第六节 油气分布与富集	(205)
第七节 有利的勘探方向预测	(207)
第十二章 原油中优质烃源岩识别指纹信息的提取与应用	(208)
第一节 饱和烃馏分的组合特征	(208)

第二节	芳烃馏分组合特征	(212)
第三节	碳同位素	(214)
第四节	优质烃源岩的判识标志	(214)
第五节	原油中优质烃源岩信息在济阳坳陷的应用	(215)
第十三章	优质烃源岩与有机质富集层在隐蔽油气藏成藏中的作用	(218)
第一节	隐蔽油气藏的定义及分类	(218)
第二节	隐蔽油气藏与优质烃源岩的关系	(221)
第三节	隐蔽油气藏的主要油气来源	(224)
第四节	层序格架内烃源岩与隐蔽油气藏的关系	(227)
结论		(232)
参考文献		(238)

第一章 优质烃源岩国内外研究现状

第一节 优质烃源岩的概念

目前，有关油气母源的术语很多，例如生油岩、生气岩、暗色泥岩、煤系地层、烃源岩、有机质富集层、烃源灶等。此外，烃源岩又可细分为有效烃源岩、潜在烃源岩、优质烃源岩、非烃源岩等。这些概念之间的相互关系参见图 1-1。

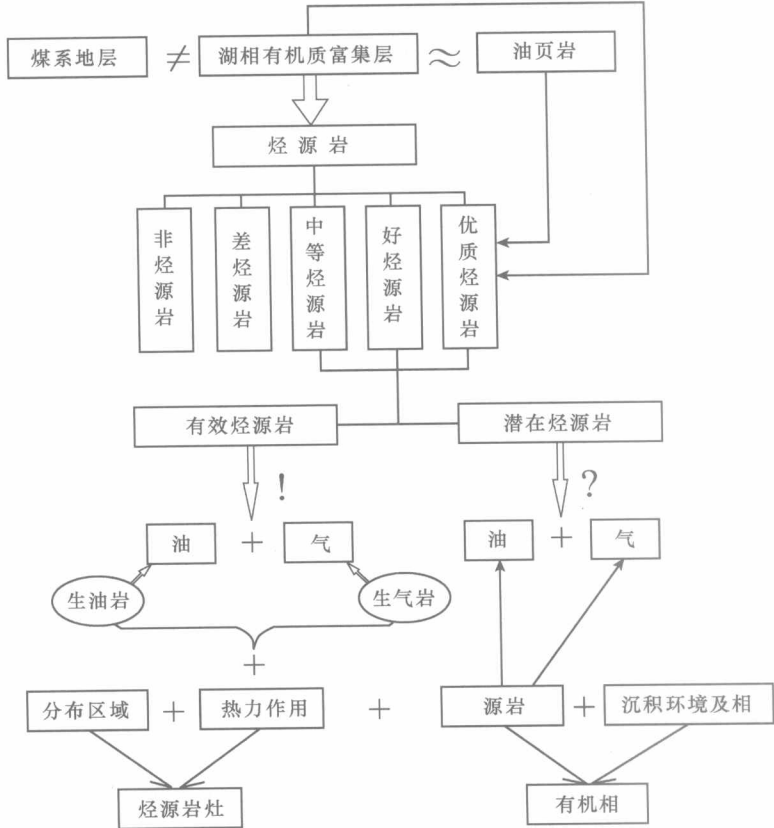


图 1-1 有关烃源岩各种术语与概念的定性关系图

烃源岩（source rock）常常被定义为：“在天然条件下曾经产生和排出过烃类并业已形成工业性油气聚集的细粒沉积”（Hunt, 1979）。从该定义中看出烃源岩应该具有两方面的特性和含义：一方面是指源岩应该在地质历史中生成和排出烃类流体，另一方面它所形成的烃类流体在数量上能运聚成藏。实际上，有机质丰度决定有无工业性成烃条件，有

机质类型决定成烃潜量和成烃方向,成熟度则决定了烃类的属性。

笔者认为在定义有效烃源岩时应充分考虑烃源岩的时效性、沉积相、成熟度等因素。

有效烃源岩 (effective source rock) 指已生成和排出大量烃类流体的岩石,它对油气成藏有贡献。有效烃源岩必须具有三个条件:富含有机质、达到成熟阶段、生成的油气能有效地排出。有效烃源岩的存在,在陆相盆地大油气田聚集成藏的过程中具有重要的烃类供给作用,也是“小而肥”等富油凹陷生烃的物质基础,其规模及分布范围控制着油气田的大小及分布。

潜在烃源岩 (potential source rock) 指由于未成熟而尚未生成和排出烃类流体的岩石,但如果经历进一步埋深或加温,则能大量生成油气。

国内外一大批学者也对有机相做了大量的研究工作,取得了相当大的成果 (Jones R. W., 1987; 陈章明等, 1990; 刘晓艳等, 1997; 彭立才等, 2001)。Jones 在 1987 年指出:控制有机相性质的主要因素有:①盆地沉积时的氧化还原条件;②沉积区域相对于物源区的远近;③古气候对陆相有机质输入、保存的影响。同时将有机相划分为 A、B、C、D 四个主要类型及 AB、BC、CD 三种过渡类型;并认为有机相类似沉积相,应从有机质的含量,来源和沉积环境 3 个方面来确定,并用于描述烃源岩中有机质的数量,类型与油气产率和油气性质之间的关系。

综上所述,笔者认为,优质烃源岩是指有机质丰度高、类型好、具有巨大的生烃和排烃能力,对油气藏有较大贡献的烃源岩;优质烃源岩是生成油气的主力烃源岩,它们的厚度往往不大,但却具有较高的生烃潜力和排烃强度。

第二节 优质烃源岩国外研究现状

烃源岩作为石油天然气的母源,在油气地质研究和油气勘探中占有十分重要的位置,国外学者对其进行了大量的研究。

20 世纪 60 年代, Degens 等对现代沉积和年轻生油岩可溶有机质进行了研究;到了 70 年代, Hunt 和 Tissot 等对干酪根和埋藏生油岩的研究认为,烃的生成出现在镜质体反射率 $R_0 = 0.5\% \sim 0.6\%$, 生烃高峰在 $R_0 = 0.9\%$, 并研究了干酪根类型与生油潜力的对应关系,为烃源岩地球化学奠定了坚实的理论基础和方法。

80 年代以后,不同学者开始进行控制烃源岩形成因素的研究,包括古环境、古气候、古生产力、氧化-还原条件和沉积速率等因素。如 Oehler (1984) 认为有机质沉积环境的优劣可反映在有机相,它控制了有机质的富集。Hatch 等 (1992) 由北美黑色页岩的研究中得出高金属 (Cd, Mo, V, Zn 等) 和硫含量, $DOP \geq 0.67$, $V/(V + Ni) \geq 0.54$, 指示含 H_2S 的厌氧环境;低的金属含量, $V/(V + Ni)$ 为 $0.46 \sim 0.60$, 指示贫氧环境。Jones 等 (1994) 认为 DOP、 U/Th 、 V/Cr 和 Ni/Co 值及自生铀 ($AU = U_{total} - Th/3$) 含量是古缺氧环境的有效标志。Mark (1998) 通过对阿拉伯盆地两套有机质丰度不同的烃源岩进行研究,认为原始生产力控制着有机质的数量和质量。Ribouleau 等 (2001) 深入研究干酪根结构,发现原始产率是控制烃源岩有机质丰度的最重要因素。对于控制有机质聚集和保存的沉积速率, Schulte (2000) 研究认为适当的沉积速率与高 TOC 是一致的。Tyson (2001) 建立了海相有机质与沉积速率的关系。Veto (2000) 认为在沉积过程中,有

36% ~ 89% 的有机质被保存下来, 而且有机质的保存程度主要由沉积速率和有机质的沉降速率控制。

随着 20 世纪 80 年代层序地层学逐渐发展成为较为完善的理论体系, 90 年代以来层序地层学被广泛运用于烃源岩成因及性质的研究中 (Klenne 等, 1991; Paisley 等, 1991; Leckie 等, 1992; Frank 等, 1993; Partt 等, 1993; Robison 等, 1993; Tyson 等, 1995, 1996; Peters 等, 2000)。其研究的重点是研究烃源岩的地球化学性质与沉积环境的关系、海平面变化与有机质的保存以及不同体系域中烃源岩中有机质组分和生烃潜能等的变化规律。

一、烃源岩地球化学性质与沉积环境的关系

Katz 等 (1993) 选择了北美、南美和东南亚三套烃源岩, 研究其有机质丰度、类型和成烃性质, 包括分子水平上的内部变化; 指出沉积条件 (水深、气候等) 的不同控制了烃源岩在地层剖面上的发育与分布, 同时也控制了有机质组成特征及其在成熟阶段生烃的性质。Mello 等 (1993) 研究了巴西 5 个盆地 4 套不同沉积背景 (包括膏盐海相和膏盐湖相) 中发育的烃源岩, 阐述了沉积环境对有机地球化学特征的影响, 他们认为高盐度沉积环境的分子标志物特征是: 低 Pr/Ph、Ts/Tm, 低三环萜烷、孕甾烷和重排甾烷、高伽马蜡烷、胡萝卜烷、规则的 iC_{25} 类异戊二烯烃、 $C_{35} > C_{34}$ 藿烷; 对于湖相和海相膏岩环境主要的分子标志物是甲藻甾烷和 C_{30} 甾烷的存在和含量, 并用岩石学和古生物资料支持其环境的解释。

Peters 等 (2000) 对印度尼西亚 Mahakam 三角洲 Makassar 斜坡建立了地球化学层序地层模型, 并识别出 4 套烃源岩, 分别命名为高水位体系域沿岸平原煤层 (HST 烃源岩)、低水位体系域煤系页岩 (LST-1 源岩、LST-2 源岩) 及水进体系域源岩 (TST 源岩) (图 1-2)。

二、海平面变化与有机质沉积、保存、有机相的关系

烃源岩的发育需要有利于有机质堆积和保存的沉积环境。Wignall 等 (1993) 提出了海进型和浅水型两类黑色页岩的沉积模式。海进型与最大海泛面有关, 通常是凝缩段, 位于海进体系域, 并向巨厚的浅海相带过渡。在地球化学上, 这两类黑色页岩存在异同点。它们的地球化学指标 (黄铁矿化率 DOP) 均成厌氧性, 有机质生源中都有陆源和海相生物; 不同之处是浅水型模式中自生铀含量高。

Steffen 等 (1993) 综合运用有机岩石学和孢粉学方法研究了法国东南部广海碳酸盐岩地层中有机相的变化情况, 并讨论了有机相与层序中不同体系域沉积单元的关系, 揭示了海平面变化与颗粒有机质分布的相关性, 建立了用有机相解释层序地层的方法。

在研究层序地层中常利用测井、地震等物探资料进行层序地层的划分, 同样也可以用这些物探资料研究烃源岩 (Passey 等, 1990; Andreas Prokoph 等, 2000)。Creaney 和 Passey (1993) 详细研究了海相烃源岩 TOC 随层序体系域变化的特征, 他们研究认为在一个层序单元内的垂直剖面上, 最大 TOC 通常与最大海泛面有关, 在该界面之上, 由于高水位体系域的进积作用, 大量陆源碎屑快速注入, 沉积物被稀释, 有机碳含量降低; 在该面之下, 由于海侵体系域水体逐渐加深, 沉积速率逐渐降低, 沉积环境变得有利于有机质聚

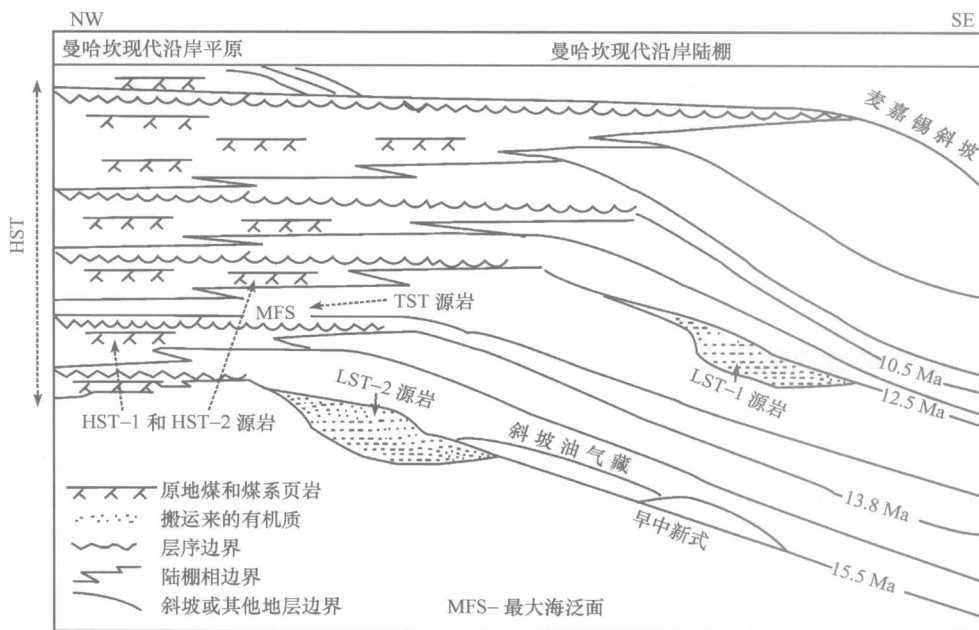


图 1-2 曼哈坎-麦嘉锡地区层序地层地球化学模型与预测的烃源岩分布
(据 Peters 等, 2000)

集, 相应地 TOC 含量由下向上增加, 伴随着向最大海泛面方向 TOC 的增加, 有机质类型变好, 并建立了 HTB 模式 (high TOC at base, decreasing upward) (图 1-3)。

Chandra 等 (1993) 利用微体古生物和海水深度及构造活动研究了印度东海岸克拉通边缘 Cauvery 盆地富含有机质页岩的形成条件 (海平面变化、缺氧条件、有机质丰度), 发现海进早期或高峰期沉积物中有机质含量高, 且富氢程度 (氢指数) 高; 而海进后期形成的烃源岩中有机质含量较低, 类型较差。他们用有孔虫指示缺氧环境, 结合水深和有机质来源及其成岩作用, 探讨了海进层序地层剖面中有机质富集与类型变化的原因。

Robison 等 (1996) 综合运用有机地球化学、有机岩石学和层序地层学方法研究了阿拉斯加北斜坡三叠系 Shublik 层烃源岩的有机相和岩性地层相的差异性。研究认为海进体系域部分是倾油相, 而上部的海退体系域主要是倾气相到没有油气。他们发现在海进体系

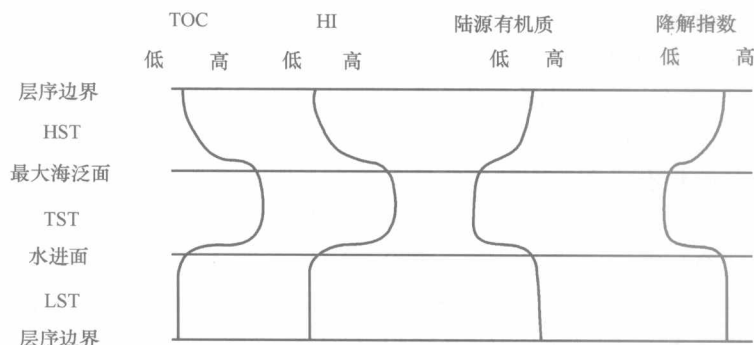


图 1-3 有机质特征与层序的位置关系
(据 Passey 等, 1990, 略有修改)

域有细微和明显的相变, 荧光无定形、海相藻质体和其他壳质体是主要的干酪根显微组分。在该海进体系域干酪根组分有四个主要的变化, 之上的凝缩段倾油型干酪根的数量减少。

Mancini 等 (1993) 研究了北美 Alabama 西南部几套中生界凝缩段烃源层的生烃潜力, 发现只有两套有生烃潜力, 说明虽然凝缩段是沉积层序中最有利于烃源层发育的部分, 但局部的沉积环境、保存条件也是影响烃源层形成的重要因素。

Fleck 等 (2002) 在层序格架下研究了法国东南部白垩系硅质碎屑陆架环境的有机地球化学特征。研究层段是单一海进—海退旋回洪泛面, 生物标志物资料表明, 它是陆源和海源有机质来源, 分子特征的变化与有机质的来源 (海源、陆源)、保存条件 (大量被粘土和早期成岩作用影响)、环境的氧化—还原和酸性条件以及生物扰动的差异性有关。他们的研究认为相对海平面的变化明显地与有机质的性质和保存有关, 地球化学特征的变化反映三级层序的旋回性。

Frimmel 等 (2004) 应用高分辨率、多参数 (multi-proxy) 化学地层学方法对德国东南部 Dotternhausen 剖面的 Posidonia 黑色页岩发育进行分析, 研究了其海平面差异与有机相变化的关系。认为海平面变化影响了原始有机质组分, 还原条件控制了有机质的保存。原始产率和陆源/海源有机质比率的变化明显地发生在黑色页岩沉积的初始阶段。重要细菌来源的有机质发育在低位体系域和海进体系域下部, 海相浮游生物来源的有机质发育在海进体系域上部、高位体系域和最大洪泛面。根据季风气候模型讨论了缺氧的周期性波动, 它可以推断夏季季风带来的丰富的营养供应和高的原始产率的地表径流量, 以及底水密度分层是有机质保存的极好条件。在干旱的冬季, 正好相反, 地表径流范围导致底水的季节性输出, 从而产生周期性的氧化条件。

三、不同体系域中烃源岩有机质组成与生烃特征

Pasley 等 (1993) 在研究 San Juan 盆地晚白垩世页岩有机相时, 认为在陆缘海陆架上, 海进体系域中的页岩有机质含量高且热解生烃潜量大; 最大海泛面沉积所含的陆源有机质最少, 倾油型组分比例最高; 而低位和高位体系域中有机质含量均较低, 热解生烃潜量少。有机显微组分分析结果表明: 海退沉积层序中所含的陆源物质要比海进体系域多, 在低位体系域中可见有丰富的保存完好的植物碎屑, 而海进体系域中的植物碎屑是高度降解的 (无定形), 这表明陆架上有机质的类型和保存与陆源沉积物的供给率和底水的含氧条件有关。因而, 在层序地层学格架内, 陆架沉积中有机质的类型 (有机相) 和含量是可预测的。每个体系域有不同的沉积特征, 影响着陆源沉积物的进入, 并影响沉积有机质的类型和保存。他们认为具最高生烃潜力的烃源层发育在凝缩段之下的海进体系域中 (包括凝缩段, 也可能直接在海进面, 即海进体系域下界面), 并非一定在凝缩段。

在海退层序剖面中, 由下向上陆源有机质含量逐渐增高, 但有机碳丰度降低, 因为沉积物的稀释作用增强。相反, 海进体系域中陆源有机物向上减少, 海相有机物增加, 同时有机碳含量升高。

Meyer 等 (1993) 以大洋钻探计划样品为例, 研究了澳大利亚西北部陆缘早白垩世有机质沉积与沉降史之间的关系。他们发现进入沉积环境的有机质丰度随盆地的沉降而逐渐减少, 认为是该古沉积环境以陆源为主, 陆源输入量随三角洲体系的后移而减少, 而且海相输入也很少。

Lambert 等(1993)研究了美国 Oklahoma 和 Kansas 一套富含有机质的泥盆系 Chattanooga 页岩层序格架, 揭示了不同层序地层中有机质含量及其类型的变化情况。认为这套页岩沉积于三级沉积层序中, 在总的海进层序中发育有 3 个页岩段。在海进达到最大程度所沉积的中部页岩层(高位体系域初期)中有机碳含量最高, 且以海相有机质为主, 有机质类型为 I 和 II 型, 分布最广且厚度大, 是该地区的主要烃源岩。其沉积时水体深, 为厌氧环境。海进体系域初始阶段形成的下部页岩层中以遭受过氧化作用的有机质为主(可能是再沉积有机质), 干酪根类型为 IV。而高位体系域后期形成的上部页岩段中, 含有大量的陆源有机物质(有机质类型为 II 和 III 型), 表明海平面开始下降, 三角洲向沉积体系中推进。他们认为, 理想的推进型旋回沉积是低位体系域含 III 到 IV 型干酪根, 海进体系域有机质丰度最高, 干酪根类型为 II 型, 高位体系域为 III 到 IV 型干酪根。Bohacs 和 Isaksen (1991) 发现低位体系域为氧化环境, 而在海进和高位体系域早期为缺氧至厌氧环境。

Mann 等(1997)研究了层序地层格架下有机相的分布和生烃潜力特征。有机地球化学和有机显微组分分析表明, 哥伦比亚 Quebrada 上 Magdalena 谷白垩系黑色页岩中 4 种有机相, 每种有机相分别位于层序格架中不同的体系域中, 具有不同的有机地球化学特征。

总之, 受沉积环境、海平面变化、介质条件、有机质输入的影响, 烃源岩发育以高位体系域早期及湖进体系域晚期质量最好, 为优质烃源岩, 其次为湖进体系域早期, 一般属于有效烃源岩。地层层序分析中, 海进体系域的高峰期形成了一套良好的烃源层, 在地震剖面上表现为密集反射段(CS), 该密集反射段与 ΔLogR 分析技术识别出的烃源层分布位置一致(图 1-4)。

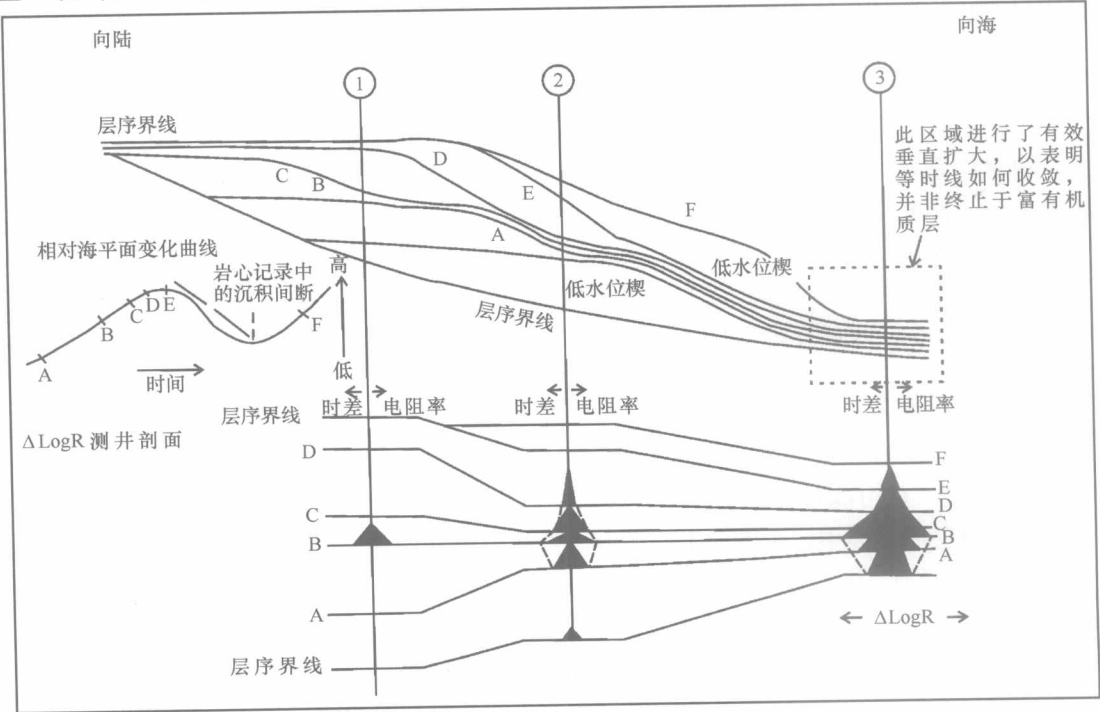


图 1-4 地层序列中富有机质岩石的地层分布模式
(据 Stephen Creaney and Passey Q R, 1993, 修改)

近年来,随着国内外现代湖泊研究资料的日益丰富,对古代湖相烃源岩沉积环境及成因的研究也进入了一个新的阶段,国际学术界纷纷重新探讨湖相烃源岩的沉积环境及成因。如 Kelts (1988) 根据现代湖泊与古代湖相烃源岩的资料系统综述了湖相烃源岩的沉积环境,并对湖泊中有机质的生产、沉积和保存作用机制进行了论述; Talbot (1991) 则从 6 个现代非洲热带湖泊的资料出发,论述了湖相烃源岩的成因,其中特别强调了气候和湖水分层对有机质堆积的控制作用。

Carrol 等 (2000) 在系统研究和对比了大量现代和古代湖相沉积物的基础上,认为沉积物和水的供应速率与潜在可容空间的增长速率之间的相对平衡控制了湖泊的发生、分布特征和层序结构,并将湖相盆地分为过补偿湖盆、均衡补偿湖盆和欠补偿湖盆 3 种类型,并研究了与之相对应烃源岩的性质。他认为在过补偿湖盆烃源岩总有机碳 (TOC) 含量低至中等,干酪根类型主要为 I - III 型,有机相差异明显,侧向变化明显。均衡补偿湖盆 TOC 含量中至高等,干酪根以 I 型为主,在湖泛面附近存在 I - III 型,相对均一和侧向连续的有机相。欠补偿湖盆总体 TOC 含量较低,部分沉积间断具高 TOC 含量,干酪根类型以 I 型为主,有机相差异较小,侧向连续的有机相。

Bohacs 等 (2000) 对湖盆类型、生烃潜力和油气特征研究进行了系统的总结,并建立了湖盆层序地层地球化学格架,对进一步开展湖盆烃源岩研究具有重要的借鉴意义。

整体而言,由于陆相湖盆面积小,多物源以及控制湖平面变化因素的复杂性等原因,陆相盆地与海相开阔盆地相比,烃源岩在层序格架内纵向分布的具体位置有些差别。对于中国陆相湖盆来说,东部断陷湖盆在不同演化阶段,沉积凝缩段可分布于高位体系域下部,也可分布于湖侵体系域上部,而西部盆地则主要分布于湖侵体系域,即陆相湖盆由于盆地类型及其演化阶段不同,使得有利的烃源岩在层序内的纵向分布位置复杂化,因此在具体分析时要注意这种差异性。

利用现代分析测试技术,详细解剖盆地中的烃源岩,研究不同岩性烃源岩的有效成烃母质,确认有效生油层,就其沉积环境、成因、成烃演化特征、成烃潜力、排烃系数、成藏模式等进行深入探讨,同时结合钻井、地震等获得的大量基础地质资料,弄清其平面分布规律及空间展布特征,进而深入地分析各烃源岩层的资源潜力,指出进一步勘探的希望所在,这是高勘探程度含油气盆地烃源岩研究的未来发展方向。

第三节 优质烃源岩国内研究现状

20 世纪 80 年代以前,“分散有机质成烃”理论一直是陆相生油理论的主导思想,这种现象的出现或多或少地受到了“油页岩或有机质富集层排油困难”等认识的影响。随着陆相生油理论研究的深入,石油地质工作者越来越认识到,高丰度的优质烃源岩对大油气藏的形成具有举足轻重的作用。中国东部富油气陆相断陷盆地的烃源岩研究及勘探实践也表明,不仅发育有机质以分散状态赋存于岩石中的一般烃源岩,而且发育有机质成层富集于岩石中的优质烃源岩,有机质富集层是岩石成为优质烃源岩的首要物质基础,它决定了烃源岩的成烃潜力及成藏贡献的大小^①。

① 东营凹陷有机质富集层形成机理及潜力分析 (内部报告), 2003 年。