

教育部跨世纪学术带头人培养计划基金资助

黄骅坳陷古生界烃源岩 二次生烃的构造控制

朱炎铭 秦 勇 著

中国矿业大学出版社

8. 130. 1

Z894

教育部跨世纪学术带头人培养计划基金资助

黄骅坳陷古生界烃源岩 二次生烃的构造控制

**Tectonic Control on the Second Hydrocarbon-generation
of Paleozoic Source Rock in Huanghua Depression**

朱炎铭 秦 勇 著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本文以构造演化为主线,综合运用现代油气地质理论以及矿物包裹体测试、裂变径迹分析、镜质组反射率测定等多种现代分析测试方法和 EASY%R_o 数值模拟技术,深入研究了黄骅坳陷古生界烃源岩的构造—埋藏史、构造—热演化史和构造—生烃史,揭示出研究区古生界烃源岩构造控制下的二次生烃演化历程,首次从理论分析和实际验证方面阐明了黄骅坳陷古生界二次生烃作用发生的构造期次、生烃强度和时空分异特征,建立起渤海湾盆地的构造—热史模式和构造—成熟度模式,得出黄骅坳陷古生界烃源岩最重要、最有意义的二次生烃作用发生在喜马拉雅晚期的重要结论,科学地预测了黄骅坳陷古生界二次生烃作用的有利区带。研究成果,不仅为大港油田(乃至整个渤海湾盆地)的深层油气勘探提供了具有参考价值的科学依据,而且对沉积有机质的二次生烃地质理论、煤化作用理论等的发展具有积极意义。

本书适合于从事化石能源地质研究的科技人员和研究生阅读参考,对从事石油天然气资源的技术人员也具参考使用价值。

图书在版编目(CIP)数据

黄骅坳陷古生界烃源岩二次生烃的构造控制/朱炎铭,

秦勇著. —徐州:中国矿业大学出版社,2002.10

ISBN 7-81070-607-1

I. 黄… I. ①朱…②秦… II. 坳陷—影响—油气运移;
二次运移—黄骅县—古生代 IV. P618.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 090502 号

- 书 名 黄骅坳陷古生界烃源岩二次生烃的构造控制
著 者 朱炎铭 秦 勇
责任编辑 宋党育
责任校对 周俊平
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 中国矿业大学印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1096 1/16 印张 8.75 字数 205 千字
版次印次 2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷
印 数 1~1000 册
定 价 28.60 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序

位于黄骅拗陷的大港油田,是我国东部油气区的重要油田之一。近年来,随着浅层油气藏的不断开发,资源量的不断减少,急需寻找新的油气资源、开发新层系和新的目标区、扩展以往油气基地。在黄骅拗陷内,孔古3井深层古生界工业油流的产出,孔古4井、乌深1井等与煤系有关的油气藏的发现,显示出古生界良好的勘探前景和潜力,引起石油工业界对黄骅拗陷深层古生界石油地质条件的极大关注,使渤海湾盆地深层烃源岩的二次生烃研究成为国内油气生成条件研究领域的前缘课题。

在漫长而复杂的地质历史中,黄骅拗陷古生界经历了多期构造运动,发生过不均一抬升、变形、埋藏、甚至岩浆活动等一系列地质作用,烃源岩生烃演化客观上存在不连续性和阶段性,导致二次生烃作用不可避免。这一系列地质作用的发生与发展,与大地构造演化是密不可分的,一方面构造活动控制了烃源岩的埋藏史、受热史与生烃史,另一方面又关系到已生成油气的破坏和保存,对油气勘探和生产具有重要影响。虽然有数项重点科技攻关、新区事业部等项目就渤海湾地区深部石油地质条件进行过研究,对渤海湾深层石油天然气生成与聚集的地质特征和规律有了一定认识,也注意到古生界二次生烃的研究,但由于二次生烃地质历程和影响因素的复杂性,且研究程度相对较低,故对黄骅拗陷古生界烃源岩生烃的主要期次和生烃规模一直不是十分明了。

针对上述理论和生产实际问题,作者以黄骅拗陷的构造演化为主线,综合运用现代油气地质理论以及矿物包裹体测试、裂变径迹分析、镜质组反射率测定、热模拟实验等多种现代分析测试方法和EASY%R数值模拟技术,深入研究了黄骅拗陷古生界烃源岩的构造—埋藏史—受热演化史—生烃史,基于以二次生烃模拟实验建立的二次生烃系列量版和大量单井模拟分析,较为全面和系统地揭示出研究区古生界烃源岩在构造控制下的二次生烃演化历程,首次从理论分析和实际验证方面阐明了黄骅拗陷古生界二次生烃作用发生的构造期次、生烃强度和时空分异特征,建立起渤海湾盆地的构造—热史模式和“三种”古生界烃源岩构造—成熟度模式,制定了古生界二次生烃的定量划分原则,得出黄骅拗陷古生界烃源岩最重要、最有意义的二次生烃作用发生在喜马拉雅晚期的重要结论,科学地预测了黄骅拗陷古生界二次生烃作用的有利区带。

本书的研究内容丰富而系统,观点明确,图文并茂,论述有据,其研究成果不仅为大港油田深部挖潜奠定了理论基础,而且对于完善烃源岩二次生烃作用、煤化作用地质理论等均有积极意义。

中国矿业大学教授
中国工程院院士

韩德馨

2002年10月15日

前言

自 20 世纪 50 年代发现大庆油田以来,地质工作者对中国东部的油气地质条件进行了广泛深入的研究,研究成果主要集中在新生界。随着浅层油气藏的不断开发,资源量的不断减少,以及对深层油气地质研究和勘探程度逐渐深入,从“七五”以来在渤海湾盆地相继发现了一批与古生界有关的油气藏(如华北油田的苏桥—文安油气田、中原油田的文留气藏等),尤其是黄骅坳陷内孔古 3 井、孔古 4 井、孔古 7 井深层古生界原生油藏的发现,显示出古生界良好的勘探前景和潜力,为深层古生界油气勘探提供了有力的证据,引起石油部门对渤海湾盆地深层古生界石油地质条件极大的关注,为我国石油天然气勘探“东部挖潜、战略西进”战略思想的实施注入了新的活力。

黄骅坳陷古生界烃源岩自沉积以来,遭受了多期复杂的构造变动,烃源岩经历了不均一的抬升、变形、埋藏,甚至岩浆作用,导致了烃源岩生烃演化的不连续性和阶段性,引发了广泛的二次生烃作用。因此,对古生界二次生烃历程和潜力的深入研究,是黄骅坳陷深层油气勘探欲形成新突破的关键问题之一。鉴于此因,本书作者瞄准煤田地质与石油地质交叉结合的学科生长点,选择黄骅坳陷古生界这一新的层系为研究对象,以构造演化为主线,综合运用现代油气地质理论以及矿物包裹体测试、裂变径迹分析、镜质组反射率测定等多种现代分析测试方法和 EASY%R 数值模拟技术,深入研究了黄骅坳陷古生界烃源岩在构造控制下的埋藏史、受热演化史和生烃演化史,尤其是构造演化对沉积有机质二次生烃的控制作用,揭示出研究区古生界有机质的二次生烃演化历程,首次从理论分析和实际验证方面阐明了黄骅坳陷古生界二次生烃作用发生的构造期次、生烃强度和时空分异特征,建立起渤海湾盆地的构造—热史模式和构造—成熟度模式,得出黄骅坳陷古生界烃源岩最重要、最有意义的二次生烃作用发生在喜马拉雅晚期的重要结论。在此基础上,定量地预测了黄骅坳陷古生界二次生烃作用的有利区带,为大港油田(乃至整个渤海湾盆地)的深层油气勘探提供了具有参考价值的科学依据。

研究工作得到了何锡麟教授的悉心指导,中国矿业大学教授、中国工程院韩德馨院士、王桂梁教授、刘焕杰教授、邵震杰教授、任文忠教授、姜波教授、曹代勇教授、王延斌副教授、唐跃刚教授、徐志斌教授、范炳恒教授、张有生高级工程师等提供了许多宝贵的建议。北京石油勘探开发研究院譙汉生教授级高级工程师、王兆云高级工程师、关德师高级工程师、何海清高级工程师、赵长毅高级工程师、何忠华高级工程师以及石油大学(北京)钟宁宁教授、周建勋副教授等给予了无私的帮助,部分测试工作分别由中国矿业大学张井工程师、北京石油勘探开发研究院郭立言高级工程师、中国地质科学院矿产地质研究所陈伟十高级工程师、中国科学院高能物理所王世成高级工程师等完成,胜利油田李佩珍高级工程师、大港油田李瑞江工程师以及华北油田、中原油田、辽河油田等诸多技术人员对现场调研给予了的大力协助。

在本著作与读者见面之际,谨向以上给予帮助的单位和个人表示诚挚的感谢。

目 录

1 研究基础	1
1.1 区域地质背景	1
1.2 研究现状	6
1.3 问题的提出	9
1.4 研究内容与技术路线	10
2 区域地球物理场特征	12
2.1 重磁场特征	12
2.2 地壳厚度	13
2.3 地壳结构	17
2.4 小 结	19
3 黄骅坳陷的构造演化	20
3.1 前第三系构造样式	20
3.2 黄骅坳陷的构造格架	25
3.3 黄骅坳陷的沉积—构造演化	41
3.4 小 结	45
4 黄骅坳陷古生界的构造—埋藏史	47
4.1 构造演化与沉积历程	47
4.2 印支期剥蚀地层厚度恢复	54
4.3 古生界烃源岩的埋藏史	57
4.4 小 结	59
5 黄骅坳陷古生界构造—热演化史	60
5.1 古生界受热史研究方法	60
5.2 黄骅坳陷古生界受热历史	70
5.3 燕山期异常高热古地热场发育特征	72
5.4 区域古地热场演化	78
5.5 小 结	81

6 构造控制下的古生界烃源岩二次生烃作用	83
6.1 二次生烃评价理论与方法体系	83
6.2 古生界烃源岩的二次生烃作用	92
6.3 黄骅坳陷古生界烃源岩二次生烃演化	108
6.4 黄骅坳陷古生界二次生烃有利区带预测	114
6.5 小 结	119
7 结 论	120
参考文献	122

1 研究基础

1.1 区域地质背景

1.1.1 区域构造概况

中国东部及海域分布着数以百计的含有各种矿产资源的中、新生代沉积盆地。它们是环太平洋带非常重要的组成部分,渤海湾盆地就是其中一个富含油气资源的大型沉积盆地,也是华北地台东缘最大的新生代断陷区。区内的负向构造除黄骅坳陷外,还有冀中、临清、东濮、济阳、渤中、辽河等坳陷(图 1-1)。黄骅坳陷位于华北地台的东部,是隶属于渤海湾盆地的一个负向构造单元,是特定区域构造演化的产物,其构造的形成、演化与华北地台、渤海湾

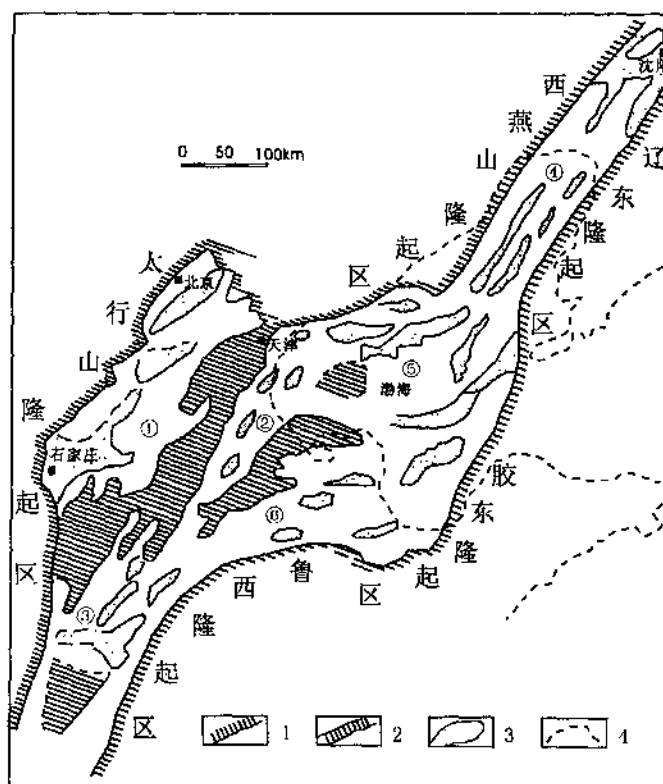


图 1-1 渤海湾盆地构造分区图(据漆家福,1994)

1——盆地边界,2——隆起,3——坳陷内凸起,4——构造单元之间的大致界线

① 冀中坳陷,② 黄骅坳陷,③ 临清—东濮坳陷,④ 辽河坳陷,⑤ 渤中坳陷,⑥ 济阳坳陷

盆地的整体发展、演化有着十分密切的关系。

从构造意义上来说,渤海湾盆地系指“东临胶东隆起,西与太行山隆起为邻,北至燕山台褶带,南抵豫淮台褶带”的广大地区,北东南西向呈反 S 形分布,总面积约 60 余万平方公里,是叠加在古生代华北克拉通巨型拗陷(地台盖层)之上的中、新生代界裂谷盆地。

渤海湾盆地深层烃源岩包含了三大套沉积岩系,即新生界和中生界地层、上古生界煤系和海相碳酸盐岩为主的下古生界和中上元古界地层。对于古生界来说,所谓的“渤海湾盆地”只不过是华北地台巨型克拉通拗陷盆地的一部分。

从板块构造格局划分,渤海湾盆地主体位于华北古板块东部,盆地的形成和发展受华北古板块与周缘板块相互作用的控制。板块活动的多期性和复杂性造成盆地构造—热事件的多旋回性和沉积作用的多旋回性,形成多层位、多类型的油气源岩,并多次生烃,使渤海湾深层具有多层系、多期次复合成烃的特点。

渤海湾盆地作为华北古板块(地台)的一个组成部分,与之有着相同的地质发展历史。经历了陆核和基底的形成阶段、台缘裂陷槽发育阶段、稳定地台盖层沉积阶段和中、新生代大陆裂谷发育阶段。渤海湾盆地区自古生代以来的构造—沉积演化可分为两大阶段,即古生代—中生代早期大陆板块拼合与克拉通盆地演化阶段、中生代中期—新生代活动大陆边缘与陆内裂谷盆地演化阶段(表 1-1)。

(1) 陆核及基底形成阶段

华北地台基底岩系由太古代及早元古代地层所组成。最初陆核可能形成于 2900 Ma 前左右(迁西运动),由于经受了强烈变形、区域高中温变质作用、区域混合岩化作用的中、下太古代组成;约 2500 Ma(五台运动)时,地壳开始由塑性向刚性过渡,同时发生一系列构造—热事件,导致华北地台的主体基本固结;但地台最终形成则在 1800 Ma(中条运动)(马杏垣等,1979;任继舜等,1980)。基底岩系在渤海湾盆地及邻区主要出露于冀东、辽东、鲁东及鲁西等地区,主要由变质杂岩、混合杂岩和多种火成岩组成,其中绝大部分在长期的地质历史中,特别是太古代期间经历了复杂的变化过程(杨遵仪等,1989)。

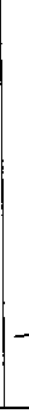
(2) 台缘裂陷槽发育阶段

经过早元古代末的构造—热事件(吕梁运动或中条运动,1800 Ma),华北地区完成了地台基底的形成固结,随后进入稳定的地台发展阶段。在早期(中、晚元古代)具有比较明显的差异性,继而表现出差异性减小,整体相对稳定的地台发展阶段。

华北地台的盖层发展阶段以整体升降为主要特征。其中,中、晚元古代为地台早期裂陷阶段,在华北克拉通内部和边缘先后形成了一些裂陷海槽和边缘海槽,堆积了若干鲕状粗碎屑或火山岩带。其中,以 NE—NNE 向(现方位)的燕山—太行裂陷槽的规模最大,其发育特征类似于拗拉槽(aulacogen),其西侧沿辽宁北票—紫荆关一线受同生断层控制(马杏垣等,1987),并同时与近 EW 向的沿宣化—承德一线分布的由同沉积断层所控制的裂陷槽相交,其沉积中心在蓟县一带,堆积了长城系下部巨厚的碎屑岩及火山岩。中元古代晚期到晚元古代,燕山—太行裂陷槽由断陷转为拗陷性质,沉积作用范围明显扩大,沉积堆积逐渐转为稳定类型(夏玉成等,1996)。在燕山—太行裂陷槽发育过程中,地壳的升降运动频繁,其中青白口纪末期的蓟县运动影响广泛,造成该裂陷槽的关闭。晚元古代时,在华北地台的东部边缘还形成了规模较大的胶辽徐淮边缘海槽,堆积了一套似稳定地台盖层向稳定型地台盖层过渡的碎屑岩和碳酸盐岩(王鸿桢,1981)。

表 1-1

渤海湾盆地深层烃源岩发育简史 (据王兆云, 1988)

地 层 层 序					构造演化			沉 积 特 征			烃源岩类型												
界	系	统	组 段	厚度/接触关系	旋回	构造运动	演化阶段	盆地类型	升降	旋回	代表性沉积相												
新 生 界	老 第三系	渐 新 统	第四系	200-400	喜马拉雅 II 幕 喜马拉雅 I 幕 燕山 V 幕 燕山 IV 幕 燕山 III 幕 燕山 II 幕 燕山 I 幕 印支运动 海西运动 加里东运动	大陆裂谷演化阶段	坳陷盆地 裂陷盆地 压陷盆地		IV III II I III II I VI V IV III II I	冲积平原 河流沼泽	湖相泥岩	I - II											
			新第三系	700-2000						河流、浅湖 滨湖三角洲													
			东岸组	300-1500						深湖 深水膏盐沉积													
			沙河一段	200-400						闭塞湖盆 深湖													
			沙河二段	100-270																			
			沙河三段	500-1200																			
			沙河四段	300-1000																			
			孔店一段	300-500																			
			孔店二段	500-600																			
			孔店三段	300-500																			
中 生 界	白垩系 侏罗系 三叠系	上 统 下 统 上 统 中 统 下 统 中 统 下 统	150-800 300-900 300-600 200-400 300-900 100-900	燕山旋回	活动演化阶段 大陆边缘演化阶段	裂陷盆地 压陷盆地		III II I	河流 火山碎屑沉积 冲积扇 滨湖沼泽 河流沼泽	湖相泥岩 煤	II - III												
			150-800						河流 湖泊 冲积平原			煤 碳质泥岩 暗色泥岩											
			300-900						河流冲积平原 上三角洲平原 泥炭沼泽														
			300-600						下三角洲平原、 泥炭沼泽、 碳酸岩盐陆棚														
			200-400						海湾、潟湖														
			300-900																				
			100-900																				
			上 古 生 界						二叠系 石炭系				上 统 下 统 上 统	石千峰组 上石盒子组 下石盒子组 山西组 太原组 本溪组	印支海西旋回	海西运动	克拉通 / 大陆边缘演化阶段	克拉通坳陷盆地		VI V IV III II I	河流 冲积平原 河流冲积平原 上三角洲平原 泥炭沼泽	暗色泥岩	II - III
														20-400							下三角洲平原、 泥炭沼泽、 碳酸岩盐陆棚		
														60-300							海湾、潟湖		
90-120																							
60-90																							
60-120																							
30-70																							
下 古 生 界	奥陶系 寒武系	中 统 下 统 上 统 中 统 下 统		峰峰组 上马家沟组 下马家沟组 亮甲山组 冶里组 凤山组 长山组 固山组 张夏组 徐庄组 毛庄组 馒头组 府君山组	加里东旋回	加里东运动	克拉通演化阶段	克拉通内坳陷盆地			VI V IV III II I	云坪、开阔海 膏云坪、开阔海 潮坪、局限海 潮坪、局限海 湖间泥灰坪 开阔海、浅滩 泥灰坪、局限海 云坪 开阔海		碳酸盐							I - II		
				0-220																			
				180-300																			
			180-250																				
			100-140																				
			10-100																				
			100-160																				
			40-100																				
			40-70																				
			140-200																				
50-100																							
30-90																							
40-150																							
0-80																							

(3) 地台稳定盖层沉积阶段

自古生代始,华北地区进入克拉通盆地稳定发展阶段,广布的席状地层缺乏变形、变质作用和岩浆活动。前寒武纪末期的蓟县运动使华北地区整体上升为陆,经历了长期的风化剥蚀,缺失早寒武世早期沉积。在早寒武世中期,受克拉通盆地南北海槽伸展扩张的影响,以下寒武统府君山组为代表开始了早古生代海侵历史,总体沉积展布以北东向为主,沉积中心多变。中、晚奥陶世整体升起(即所谓的加里东运动)与晚石炭世地台沉降是一次最具地台特征的构造运动。它使几乎整个地台缺失了上奥陶统至下石炭统下部的大套沉积,其间普遍形成平行不整合接触,升降前后拗陷区和隆起区的古构造格局又能长期保留而没有明显变化。晚石炭世开始华北地台又整体缓慢下沉,接受了上石炭统、二叠系及下一中三叠统的沉积,这段时间是从浅海沼泽到陆相湖盆变迁的过程。直到三叠纪末的印支运动以前整个古生代盖层发育阶段,华北地台的构造格局都是近东西向的,与其南北两侧的天山—兴蒙和秦—祁褶皱系方向一致。当时的古地球物理场,如莫霍面的等值线也应呈近东西向。

(4) 中生代中期—新生代活动大陆边缘与陆内裂谷盆地演化阶段

中三叠世末的印支运动是中国地质大陆演化史的转折点,板块拼贴形成统一的中国大陆,太平洋板块与中国大陆板块之间的相互作用(太平洋地球动力学体系)成为控制中国大陆东部地质演化的主导因素,构造—沉积分异由近东西向展布转化为 NNE 向展布与 EW 向展布并存的复合格局,同时也结束了大规模海侵历史,进入以陆相盆地为主的演化阶段。这一阶段可进一步划分为中生代燕山旋回和新生代喜马拉雅旋回两个亚阶段。渤海湾盆地地区与中国大陆东部一样,经历了中生代和新生代两个裂陷作用旋回(马杏垣,1983),形成了众多不同规模、不同类型的陆相沉积盆地,并伴有多期岩浆活动。

1.1.2 古生界烃源岩特征

(1) 烃源岩有机组分和组成特征

黄骅拗陷的古生界地层区划归华北地层区。区内下古生界由寒武系和中、下奥陶统组成,其下与基底太古界及下元古界变质岩呈角度不整合接触,与上覆晚石炭世本溪组(C_2b)呈平行不整合接触。寒武系由八个组组成,由下向上分别为府君山组、馒头组(ϵ_1m)、毛庄组(ϵ_2mz)、徐庄组(ϵ_2x)、张夏组(ϵ_2z)、崮山组(ϵ_3g)、长兴组(ϵ_3c)和凤山组(ϵ_3f);中下奥陶统由五个组组成,自下而上依次为:冶里组(O_1y)、亮甲山组(O_1l)、下马家沟组(O_2mx)、上马家沟组(O_2ms)、峰峰组(O_2f)。下古生界沉积期间,基本为连续沉积。该区的早古生代地层含丰富的海相生物化石,包括三叶虫、牙形石、腕足类、有孔虫、介形类、海绵类、棘皮类、藻类体及疑源类等。本次研究揭示其有机质干酪根类型多为 I ~ II 型(王兆云等,1998)。

研究区上古生界和渤海湾其他地区一样,沉积在中奥陶统之上,两者呈平行不整合。上古生界地层仅存在石炭系和二叠系,是著名的煤系地层。石炭系由二个组组成,在中奥陶世不整合面上沉积了本溪组(C_2b)和太原组(C_3t)。二叠系地层由下而上分为山西组(P_1s)、下石盒子组(P_1x)、上石盒子组(P_2sh)和石千峰组(P_2s)。上古生界地层的沉积过程也是一个连续的沉积,富含植物化石和动物化石,烃源岩有机质干酪根多为 I ~ II 型。

(2) 下古生界有机质丰度

黄骅拗陷内下古生界地层广泛发育,但地表没有直接出露,据钻孔揭露的最厚地层达 1238 m(津 4 井)。

黄骅拗陷内下古生界地层普遍超过 1000 m,以下、中奥陶统为较好烃源岩,其共发育有

三套主要生烃岩系,即奥陶系下马家沟组、上马家沟组和峰峰组。而有机地化研究表明,寒武系碳酸盐岩有机质丰度较低,如府君山组的有机碳仅为 0.09%,张夏组为 0.057%,寒武系上统为 0.05%。有机质平均含量为 0.09%/69 块,沥青“A”平均含量为 145×10^{-6} /32 块,总烃含量平均为 88×10^{-6} /30 块,又均属差的生油岩。而奥陶系烃源岩的有机质含量要较寒武系高得多(刘宝泉,1989)。

① 下马家沟组(O_{2mx}):厚 150~210 m,底部为泥质白云岩夹泥灰岩,中部为白云岩,上部为褐色灰岩夹白云岩。港 2 井该组有机碳含量为 0.168%,氯仿沥青“A”为 214×10^{-6} ,属好生油岩。

② 上马家沟组(O_{2ms}):厚 120~287 m,底部为白云岩夹泥灰岩,中部为灰岩,上部灰褐色灰岩夹泥质条带灰岩。港 2 井该组有机碳含量为 0.183%,属好生油岩。

③ 峰峰组(O_{2f}):厚 0~210 m,灰褐色灰岩夹泥岩、泥灰岩、石膏层。孔店构造带该组样品有机碳含量为 0.189%,氯仿沥青“A”为 334×10^{-6} ,属好生油岩。

因此,奥陶系碳酸盐岩有机质较为丰富。统计资料表明,有机碳平均含量为 0.13%/132 块,沥青“A”平均含量为 183×10^{-6} /83 块,总烃平均含量为 98×10^{-6} /30 块,属较好生烃岩(刘宝泉,1989)。

(3) 上古生界有机质丰度

黄骅坳陷的上古生界石炭一二叠系全区都有分布,据大量钻孔资料统计,上古生界石炭一二叠系主要分布于黄骅坳陷和沧县隆起的南部,为一套厚度达 900 m 左右的海陆过渡相沉积;其下部为本溪组(C_2b)、太原组(C_{2t})和山西组(P_{1s})的含煤地层,有机质含量十分丰富,可构成良好的烃源岩(表 1-2)。

表 1-2 黄骅坳陷各类烃源岩的有机质丰度统计(据王延斌,1998)

层位	岩性	有机质丰度参数						生油百分比(%)				综合评价
		Cor _g (%)	“A” (%)	H _c (10^{-6})	P _g (mg/g)	I _h (mg/g)	E+S (%)	好	中	差	非	
P_{1x}	泥	1.23	0.17	694	4.41	129	—	5.5	5.5	13.8	75.2	差
P_{1s}	泥	2.37	0.18	822	2.074	107	—	11.1	20.3	31.4	37.2	中—差
	碳	14.68	0.19	1855	47.4	276	—	16.6	50	16.6	16.6	中—差
	煤	49.7	1.49	5349	143.9	246	14.3	14.2	24.5	32.5	28.5	中—差
	泥	2.74	0.24	2092	2.028	125	—	24	22.2	24.1	30	中—差
C_{2t}	碳	17.9	0.25	1151	33.6	215	—	21.6	31.8	26.6	20	中—差
	煤	57.9	2.55	6686	145	253	10.5	—	43.7	33.3	23	中—差

该层系烃源岩(煤+泥质岩)中油源岩较少,约占总烃源岩的 6%~12%,气源岩占 44%~51%,油气共生的源岩占 41%~45%,也即层系的生油岩和生气岩各 30%和 70%,即以生气岩为主(罗铸金,1995)。

① 本溪组(C_2b):区内广泛发育,该组地层沉积在中奥陶统风化面上,属填平补齐产物。总体表现为下部属铁铝沉积组合,由山西式铁矿、铝土矿组成,上部为含煤碎屑岩夹碳酸岩沉积组合,岩性深灰色泥岩夹 2~3 层灰岩、粉砂岩和煤线,厚 30~70 m。

本溪组是一套地台型碎屑岩夹灰岩含煤组合,为滨浅海相沉积,当时气候温暖潮湿,陆生植物繁茂。孢粉有无环单缝孢、三角形粒面孢、芦木孢和有孔虫、纺锤虫和藻类等。剖面中暗色泥岩占 50%左右,灰岩、鲕粒灰岩自北向南增加,煤层则自北向南减少,说明海水自南向北侵入。

② 太原组(C_3t):以海陆交互相含煤沉积为主,夹碳酸盐岩薄层,富含有机质。下部以薄层灰岩与砂岩互层沉积为主,间夹煤线和碳质泥岩,厚约 60~80 m;上部为煤层集中段,以煤层、黑色泥岩、碳质泥岩为主夹薄层砂岩和灰岩,厚约 80~100 m,其中煤层累计厚 8~12 m。

本区晚石炭世以海退为主,滨海沼泽发育。当时气候温暖潮湿,陆生植物繁茂,覆水沼泽中喜水乔灌和攀缘植物丛生。孢粉有无环单缝孢、三角形粒面三缝孢、芦木孢、瘤面三缝孢以及圆形、粒面、光面三缝孢等。由于地壳缓慢沉降和物源补给充足,发育多期泥炭沼泽,形成了碎屑岩夹灰岩含煤建造。

③ 山西组(P_1s):早二叠世,华北地区海水南撤,明显具海陆过渡的三角洲相沉积特征,岩性以碎屑岩为主,缺乏海相灰岩层。当时,气候温暖潮湿,陆生植物繁茂,含有大量的无环单缝孢、三角形粒面三缝孢、芦木孢、刺面三缝孢。下部以煤层和暗色泥岩沉积为主,上部以砂岩夹灰黑色泥岩沉积为主,从上而下可划分为二个沉积旋回,相对于太原组而言,煤层厚度变小,累计一般在 5~8 m,而暗色泥岩与碳质泥岩则厚达 42~70 m,全组地层最厚达 179 m。

④ 下石盒子组(P_1x):以河流相沉积为主,发育一套砂岩、含砾砂岩和泥岩。在黄骅坳陷,从底部砂岩开始到顶部泥岩结束,共发育四个旋回,煤层不发育,暗色泥岩厚 13~56 m,下石盒子组出现个别的紫红色泥岩段,最大厚度可达 268 m。

⑤ 上石盒子组(P_2sh):以一套黄绿—紫红色的陆相碎屑岩沉积为主,基本上无煤,最大厚度可达 318 m。

⑥ 石千峰组(P_2sq):由于该组的地层也以紫红—暗紫红色为主,因此与上石盒子组划分较为困难,又由于后期的剥蚀作用较为强烈,使地层多数不详,岩性以紫红、暗紫红色块状泥岩与灰绿色、灰紫色及白色粉、细砂岩互层,厚度变化大,本区最大可达 700 m。

1.2 研究现状

含油气沉积盆地的分析是一门多学科的综合研究工作,其中构造研究尤为重要。在石油勘探过程中,构造地质条件的分析、研究贯穿了勘探的全过程,它不仅直接控制了油气的聚集,而且对沉积相带和生、储油层的空间分布有着深刻的影响,可以认为构造作用是影响和控制油气生成、运移、聚集、保存的最基本的地质因素,因而倍受国内外专家的重视(Balley, 1984; Lowell, 1985; 朱夏, 1986; 陈发景等, 1986, 1988; 翟光明, 1987; Morley, 1990; 王燮培等, 1989, 1992; 孙岩等, 1991; Davidson 等, 1992; 魏洲龄等, 1993; Persad 等, 1993; Dou, 1995; 杨克绳, 1993, 1999; 杜德莉等, 1998; A. 佩罗顿, 1998)。

从 1955 年开始对黄骅坳陷进行勘探、研究以来的 40 多年里,已有众多的研究者就黄骅坳陷油气地质在各方面进行了广泛而深入的研究,并取得了辉煌的成果。这里主要对黄骅坳陷的构造和古生界二次生烃进行回顾和评述。

1.2.1 地质构造研究

黄骅坳陷的内部构造变形极为复杂,而油气资源的生成、运移及富集又与构造变形有着直接的关系。石油部门的决策者及勘探地质学家们早就认识到在黄骅坳陷开展构造研究的重要性,早在20世纪70年代就开始注重总结坳陷的构造特征并以此来指导油田勘探工作。特别是80年代中后期以来,多次组织科研力量在总结多年油气勘探实践经验的基础上,设立了构造、油气构造等专项研究,较为系统地分析了黄骅坳陷构造分布规律及其形成演化过程,并在构造成因与新生代油气生成、运移和富集等方面取得了丰硕的成果(马杏垣等,1983;刘池阳,1986,1987;翟光明等,1988;田在艺等,1989;李志文,1989;刘宝泉等,1989;朱夏,1990;高知云等,1986;胡见义等,1991;孟庆任等,1993;漆家福等,1994,1995;李思田等,1997;于志海等,1997;宋国奇等,1997;邓清禄等,1998;李军等,1998;何海清等,1998),对黄骅坳陷的形成机理基本达成了共识,即黄骅坳陷是在复杂构造背景上发育起来的新生代裂谷式盆地。其发展演化明显可划分为两个阶段:早第三纪的裂谷作用期和晚第三纪以来的热沉降作用期。但在具体分析过程中,对裂谷作用的表现形式和引起构造作用的深部过程方面尚存在分歧。孟庆任等(1993)、于志海等(1997)认为黄骅坳陷是一个典型的拉张盆地,基底拆离断层控制了其浅层的构造样式;漆家福等(1995)则认为是相对独立的伸展构造与走滑构造联合作用的结果;滕吉文等(1997)在对大量的深部地球物理资料研究的基础上,提出了晚新生代以来渤海湾是一个正在发展的地幔柱构造,地壳浅层大规模的坳陷是地幔柱上升的地表响应;杨克绳(1999)则认为黄骅坳陷是在强烈拉张作用下形成的箕状盆地,并提出晚第三纪以来,热沉降作用是挤压背景的产物。

近年来,随着浅层油气藏的不断开发,资源量的不断减少,特别是黄骅坳陷内孔古3井、孔古4井等深层古生界原油的陆续发现(王兆云等,1997),显示了古生界良好的勘探前景和潜力,石油部门对渤海湾盆地的深层古生界石油地质条件给予极大的关注,并在数项重点科技攻关、新区事业部等项目中对深部石油地质条件进行过研究,对渤海湾深层石油天然气生成与聚集的地质特征和规律有了一定认识(王定一等,1995;程克明等,1996;田克勤等,1996;王延斌,1998)。尤其是“七五”以来为寻找后续资源,做了大量的勘探研究工作,“八五”期间中国石油天然气总公司设立了“华北地区古生界一中、上元古界烃源岩及演化研究”的攻关项目,对黄骅坳陷的古生界烃源岩进行了较为系统的研究和总结(程克明等,1996)。大港油田集团勘探公司设立了“黄骅盆地中、新生代构造解析”研究课题,对黄骅坳陷中、新生代构造样式和成因机制进行了大量的研究和总结(王光奇等,1997)。所有的这些勘探和研究工作,为认识黄骅坳陷深层古生界烃源岩的生烃潜势及构造的演化提供了丰富的资料,并为进一步加深对古生界的研究打下了坚实的基础。

1.2.2 二次生烃研究

烃源岩二次生烃基本含义为:烃源岩被埋藏进入生烃门限,产生生烃作用,被称为一次生烃作用(或初次生烃作用);在烃源岩仍有生烃潜力时被抬升(或受热温度降低)、生烃作用中断,当再次埋藏(或受热温度升高)时,烃源岩在温度和压力的作用下,再次发生生烃作用。可见,“二次生烃”作用强调两个要点:① 烃源岩的初次演化必须进入生烃门限;② 强调有过再次(甚至多次)生烃作用。本次研究中将烃源岩有机质成熟度达到生油门限(0.5% R_o)作为一次生烃,未达到的不作一次生烃处理,而将一次生烃后烃源岩发生的各次生烃作用统称为“二次生烃”。

研究表明,烃源岩发生二次生烃可笼统地归结为两种基本情况:① 先抬升剥蚀,再深埋而使烃源岩发生二次生烃,即所谓深埋型;② 烃源岩遭受异常高热古热场的影响,发生二次生烃,称热变型。可见,不管二次生烃由何种因素引起,其根本与地质历史时期中的构造作用有着紧密的联系。因此,构造作用直接或间接控制了烃源岩的二次生烃作用。

对有机质二次演化作用的研究,至少可以溯源到四五十年代,王竹泉先生(1957)就提出二次变质(二次煤化)作用,国际上甚至更早(斯塔赫等,1990)。周中毅等(1983)据古地温地质模式的研究认为,塔里木八楚地区石炭系在新生代深埋后可再次生油。在研究西伯利亚通古斯盆地时,Epemehko(1984)也提出二次生烃作用。Tissot(1978)则认为现存的古生界原油均为中、新生代以来新生的。

已有一些学者论述过有关黄骅拗陷及华北地区的古生界二次生烃问题,并进行了一定程度的探讨(任德贻等,1985;杨起等,1987;秦勇等,1990,1992,1997;韩云生,1992;张传金,1993;钟宁宁等,1990,1992,1997;程克明等,1996;王兆云等,1999)。还有学者进行少量热解生烃模拟,得出了一些规律性的认识(冉启贵,1994;钟宁宁等,1997;邹艳荣,1998;秦勇等,1998)。

伴随着生烃演化的研究,在烃源岩的埋藏史、受热史等方面的研究也取得了许多成果(陈墨香,1988;王良书等,1989;卢焕章等,1990;康铁笙等,1991)。

现将华北地区目前构造对古生界生烃演化控制作用的总体研究成果总结如下:

(1) 黄骅拗陷的古生界烃源岩赋存于中、新生界大陆裂谷型盆地中,拗陷的构造演化控制了烃源岩的生烃演化历程及空间展布。古生界烃源岩的一次生烃作用发生于前裂谷期(相当于印支期),二次生烃作用受控于同裂谷期(相当于燕山期)的构造古地热场特征及深埋作用(相当于喜马拉雅期)。古生界烃源岩的二次生烃起源于两类基本地质条件:一是区域性热事件造成的异常古地热场,主要发生于燕山中期;二是强烈断陷导致的深埋作用,可能发生于喜马拉雅期侏罗—白垩纪,也可能出现于喜马拉雅期早第三纪和晚第三纪。

(2) 古生界烃源岩的一次生烃作用产生于海西期—印支期的正常古地热场背景之下(深成作用),有机质成熟作用受控于巨型拗陷盆地中不同地区地壳的沉降幅度,因此烃源岩的有机质成熟度与其在该期的最大古埋深具有正相关的函数关系,其中印支期的沉积—构造分异特征对一次生烃的程度起着至关重要的控制作用。二次生烃作用是燕山期褶皱—断块盆地和喜马拉雅期大型拗陷盆地发育的结果,有机成熟度受控于构造高度分异导致的差异沉降幅度以及深部幔—壳构造调整、岩浆侵位、深大断裂导热等构造—地热系统造成的异常古地热场背景或再次深埋作用。异常古地热场空间分布的不均一性及其作用的结果,往往导致有机质成熟度或成烃阶段与埋深之间不具相关性。两次(甚至多次)热演化阶段的叠加,导致构造—热演化史和二次生烃史具有多种类型,造成目前有机质成熟度在三维空间中复杂分布的格局。

(3) 在前燕山期深成作用的控制下,古生界烃源岩在印支期末的有机成熟度在沉降中心(豫西北—晋东南)附近镜质组反射率(R_o)至少已达1.2%~1.5%,基本上经历了生油窗阶段而开始进入干气阶段,但在盆地周缘一般处于0.6%~0.7% R_o ,甚至更低,仍处于未成熟阶段或刚进入生油门限。上古生界烃源岩的现代有机成熟度一般处于0.6%~6.0% R_o 之间,是两次(甚至多次)热演化叠加的结果。因此,二次生烃作用存在油/湿气生成、油/湿气—干气生成和干气生成三种基本类型,其达到的程度和强度在时间和空间上变化较大,是导致

烃类相态垂向上具有明显的分带性和相态分布深度差异较大的重要原因之一。

(4) 自燕山期以来,研究区经历了多期岩浆—构造热事件,大致可以分为侏罗纪、白垩纪—早第三纪、晚第三纪—第四纪三个地质历史阶段。第一阶段的岩浆活动显示主要见于北缘的阴山—燕山地区以及沿东缘的郯庐断裂带分布,属陆壳型岩浆岩系,对区内古生界烃源岩有机成熟作用的影响不是十分显著。第二阶段和第三阶段侵位于盆地沉积盖层和喷出地表的岩浆,主要来自幔源岩浆的直接分异产物,为岛弧型岩浆岩系。燕山期的岩浆活动在研究区广泛存在,是造成燕山中—晚期区域异常古地热场的一个重要原因,可能导致古生界烃源岩的大规模二次生烃。

(5) 研究区古生界烃源岩有机成熟度的空间分布具有“南北分带、东西展布”的总体趋势,高成熟度带的展布与深大断裂带的分布基本一致,揭示出深大断裂带控制下的岩浆上涌、带中的热对流及带两侧一定影响范围内的热传导对异常古地热场的控制作用。

(6) 在烃源岩二次埋藏(一次埋藏后的各次埋藏的统称)期间,有机质成熟作用存在明显的“迟缓”或“钝化”现象,一次生烃中止成熟度越高,迟缓现象越明显,生烃的迟缓量越大。在给定的热演化范围内,二次生烃量与一次生烃量的总和小于连续热演化的生烃量,一次生烃已达到生烃高峰的烃源岩,其二次生烃同样存在一个生烃高峰。由此可能导致如下现象:二次生烃门限的深度远大于一次生烃的终止深度,或二次生烃的临界温度远高于一次生烃的期间所经历过的最高古地温;二次生烃历程远复杂于连续生烃过程,可能导致生烃范围的扩大及生烃高峰推迟。为此,“迟缓”或“钝化”现象对二次生烃深度、数量、油气相态和空间分布的评价预测至关重要,在二次生烃研究中应予以高度重视。

(7) 沉积有机质成熟度作用和成烃阶段不仅主要取决于其热演化程度和历史,而且也在一定程度上受控于有机质的成因类型和埋藏成岩条件。在镜质组 $R_o < 2.0\%$ 的演化阶段,海相镜质体成烃作用迟滞于“陆相”镜质体,“陆相”镜质体中强还原性镜质体的演化滞后于弱还原性镜质体,海相碳酸盐岩中有机质的成烃演化滞后于煤、泥岩中的有机质,这种迟滞效应在生烃高峰阶段可达 $0.3\% \sim 0.4\% R_o$ 。在 $R_o > 2.0\%$ 以后,差异演化的表现特征发生反转,即强还原性镜质体、碳酸盐岩中有机质等的成烃演化进入了“超前”阶段。鉴于此因,对有机成熟度光性标志的选择,以及不同组分类型有机质成烃演化特征与演化地质条件之间的匹配关系应给予足够的关注。

1.3 问题的提出

通过研究有关黄骅拗陷的大量文献资料,认为在下列问题上尚存在不足或认识不明:

(1) 黄骅拗陷的生烃主要期次尚不十分清楚,某些结论具有很大的推测性,同一地区不同的研究成果往往存在较大的差异。造成这种问题的主要原因主要在于两个方面:一是对三叠系原始沉积厚度的恢复结果存在不同的看法,导致对印支期末古生界埋藏深度的看法不一,进而影响到一次生烃历程及不同生烃期主次的客观评价;二是在强调深埋作用(特别是喜马拉雅期的深埋)的同时,普遍的轻视(甚至忽略)了由于地幔隆起或深大断裂导热所形成的燕山期区域异常古地热场因素,导致得出二次生烃的前提是二次埋藏必须深于一次埋藏的片面推理,可能造成对二次生烃发生时代的估计偏晚和对二次生烃门限深度的估计偏大。

(2) 对本区下古生界在印支期前的生烃历史尚认识不清,原因主要在于两个方面:一是

华北地区中奥陶系沉积后较长时间的沉积间断和风化剥蚀,加之后期多次的构造改造,因此要恢复下古生界在加里东期—海西早期的构造—埋藏史的难度较大;二是尚无公认的、有效的下古生界有机质成熟度标准。

(3) 对二次生烃迟滞效应的程度、地质控制因素的研究尚不完善,由此影响到对主要生烃期次、发生的生烃门限深度、生烃量、生烃—构造—埋藏关系的客观认识,使深部油气勘探目标优选的难度增大。

(4) 缺乏对本区燕山期构造—岩浆活动的系统研究,无法搞清燕山期的古地热场特征及其时空分布,这直接导致对古生界生烃演化的正确估计,从而影响了二次生烃有利区块的评价和预测工作。

(5) 已有许多学者对黄骅坳陷的构造和生烃特征进行过研究,但主要针对新生界烃源岩,而就构造演化与古生界二次生烃的关系,特别是构造控制下古生界二次生烃特征、生烃量以及烃类运移和保存方面尚存在较大的不足。

石油大学、西北大学和石油勘探部门等对黄骅坳陷开展了大量的研究工作,取得了丰硕的成果,为本次研究工作提供了大量基础资料。但这些研究工作多数以第三系为研究目标,也有一些针对古生界的研究,但不是侧重于生烃母质的研究,就是单纯的含油构造分析,尚未见有从动态角度把构造演化与生烃作用有机的结合起来,以历史的、动态的观点去分析黄骅坳陷的二次生烃特征,更缺乏对生烃构造动力学机制的研究。

1.4 研究内容与技术路线

通过详细分析前人有关黄骅坳陷及周围地区的各种研究报告和文献,本书在对黄骅坳陷的构造演化深入研究的基础上,运用新理论、新方法,从历史构造演化的角度,详细分析在大陆动力学背景控制下黄骅坳陷的构造—古地热系统,古生界烃源岩的构造—埋藏系统,揭示在构造控制下古生界烃源岩的生烃(特别是二次生烃)演化历史、空间分布和地质机理。基于前人的研究成果,本书在有机质热解模拟实验的基础上,选择位于黄骅坳陷内的不同构造单元上的 24 口井进行详细的剖析,对黄骅坳陷古生界各二次生烃的有利地域、时域、深度和相态作出评价和预测。

本书的研究流程和工作量见表 1-3 和图 1-2。

表 1-3 本书研究工作量一览表

研究项目	工 作 量	完 成 人
油田采样	各类样品共 340 个;其中黄骅坳陷 165 个;沧县隆起及冀中坳陷 77 个;济阳坳陷 68 个;临清—东濮坳陷 43 个;辽河坳陷 37 个	中国矿业大学,朱炎铭,姜波,秦勇,张有生
全岩光、薄片制备	全岩样,165 个;薄片样,76 个	中国矿业大学,朱炎铭,于长松
腐植煤、腐泥煤热解模拟实验	12 个(共 72 个温度点)	石油勘探开发研究院测试中心,邬立言,朱炎铭
矿物包裹体样、裂变径迹样制备	97 个	中国矿业大学,朱炎铭