

临清坳陷(东部)

石油勘探地球化学综合研究

胜利石油管理局地质科学研究院
江汉石油学院分析测试研究中心

1992 年 12 月



目 录

前言	(1)
第一章 区域地质背景	(4)
第一节 区域地层简述	(4)
第二节 区域构造轮廓	(7)
第三节 石油勘探进展	(9)
第二章 烃源岩显微组分剖析	(10)
第一节 显微组分特征	(10)
第二节 显微组分分析方法比较	(15)
第三节 显微组分组成	(19)
第四节 腐泥组显微组分剖析	(25)
第三章 烃源岩可溶组分组成剖析	(32)
第一节 氯仿沥青的族组成	(32)
第二节 饱和烃馏分组成	(35)
第三节 芳烃馏分组成	(52)
第四节 可溶有机质生源综合剖析	(68)
第四章 有机质丰度和类型	(74)
第一节 有机质丰度	(74)
第二节 有机质类型	(82)
第五章 单井剖面有机相分析	(93)
第一节 有机相类型划分标准	(93)
第二节 德南洼陷有机相剖析	(96)

第三节	禹城洼陷有机相剖析	(100)
第四节	沈庄洼陷有机相剖析	(103)
第五节	各洼陷单井有机相比较	(105)
第六章	烃源岩有机质演化	(107)
第一节	有机质演化的标志	(107)
第二节	有机质演化的阶段性	(113)
第三节	有机质演化的不均衡性	(117)
第七章	原油组成特征与油源对比	(119)
第一节	原油物理性质	(119)
第二节	原油化学组成剖析	(120)
第三节	油源对比	(132)
第八章	德南洼陷油气初次运移	(139)
第一节	压实曲线的获取	(140)
第二节	压实带的基本特征	(144)
第三节	过剩压力的分布特征	(148)
第四节	地层埋藏史与排烃期分析	(156)
第九章	石油生成机制研究	(157)
第一节	生烃基本地质条件	(157)
第二节	生烃原始母质	(159)
第三节	低熟油的形成机理	(163)
第四节	临清坳陷生烃模式	(166)
第十章	烃源岩生烃潜力评价与有利勘探方向	(169)
第一节	评价参数选择	(169)
第二节	各洼陷不同组段生油潜力评价	(171)
第三节	不同洼陷生油潜力评价	(173)

第四节 德南洼陷生油潜力评价	(176)
第五节 临清坳陷东部有利勘探方向	(178)
参考文献	(183)

前 言

临清坳陷地处渤海湾裂谷盆地西南端,位于鲁、豫、冀三省边区。坳陷东部包括山东省境内的德州、聊城两地市,属于胜利石油管理局矿产资源登记的石油勘探范围。由于石油地质规律的复杂性,自1958年以来,临清坳陷东部虽历时30多年的石油勘探,但勘探难度大,探井成功率低,迄今仅有两口探井获低产工业油流。

为探索研究临清坳陷东部的油气地质规律,提高石油勘探工作的成效,胜利石油管理局临清勘探项目与地质科学研究院(甲方)委托江汉石油学院分析测试研究中心(乙方)开展“临清坳陷德州凹陷、禹城凹陷地球化学综合研究和远景评价”工作。该项研究的技术内容与要求如下:

1. 采用有机地球化学与有机岩石学相结合的方法,双方合作查明临清坳陷原油(特别是低熟油)的原始成烃母质、生源构成特征;结合地质条件初步研究其成烃机理与生烃模式,并对德南洼陷烃源岩成烃潜力作出评价。

2. 借助于钻时声波、密度测井、粘土矿物组成等资料,对德南洼陷的油气运移趋势进行研究,为明确临清坳陷找油气方向提供科学依据。

依据1991—1992年度上半年临清坳陷东部的石油勘探进展及对该区研究评价工作的需要,本项课题的研究涉及德南洼陷(德1、3、4、5、6)和沈庄洼陷(沈参1井)等新探井以及梁水镇洼陷(贾2井)和禹城洼陷(禹参2井)等老探井原油和岩石样品分析研究。总计完成20口井138个样品有机地球化学系统分析,53个样品有机

岩石学系统鉴定与检测,138个样品碳同位素分析和 91 个样品减项分析。总计进行 23 种项目的分析检测,完成分析工作量和样品分布详见表 1 和 2。

表1 样品分析工作量统计表

序号	分 析 项 目	分析样品数 (个)
1	有机碳	70
2	氯仿沥青	70
3	族组分	70
4	干酪根分离镜鉴	41
5	Rock-Eval热解	70
6	C、H、O元素	37
7	微量元素原子吸收光谱	76
8	碳酸盐含量	25
9	氯离子含量	38
10	气相色谱(GC)	70
11	饱和烃色谱/质谱	54
12	芳烃色谱/质谱	11
13	岩石吸附烃气相色谱	46
14	烃源岩馏分碳同位素	130
15	原油馏分碳同位素	8
16	镜质组反射率Ro	53
17	岩石全岩显微组分镜鉴	53
18	显微荧光光谱	69
19	全岩显微荧光强度	80
20	粘土矿物X衍射	76
21	岩石薄片镜鉴	38
22	孔隙度测定	49
23	干酪根红外光谱	40

表2 地球化学与有机岩石学分析样品分布

注 陷	地 层 层 位	井 号	原油样		岩 石 样		
			合计	样品数 (个)	合计	全分析	减项 分析
德南洼陷	Es ₁ 、Es ₂ 、Es ₃ 、Es ₄ 、Ek	德1、德3 德4、德5 德6 德参1、德参2	2	2	58	48	10
白马湖洼陷	Es ₁ 、Es ₃	许1			3		3
禹城洼陷	Ed、Es ₁ 、Es ₂ 、Es ₃ 、Es ₄ 、Ek	禹参1、禹参 2、禹4 禹7			65	60	5
沈庄洼陷	Es ₁ 、Es ₂ 、Es ₃ 、Es ₄ 、Ek	沈参1			27	27	
梁水镇洼陷	Ed、Es ₁ 、Es ₃ 、Es ₄ 、Ek	莘2、莘参1井 贾1、贾2 韩1 莘3、姜1	1	1	73		73

江汉石油学院主要承担德南洼陷原油和泥岩样品以及梁水镇洼陷贾2井原油样品的系统剖析,还参与沈庄和禹城洼陷样品的有机岩石学镜鉴和色谱/质谱分析结果的数据处理,并完成德南洼陷6口井和6条地震剖面112个CDP点速度谱的泥岩压实与油气运移研究。胜利石油管理局地质科学研究院地化室承担全部碳同位素、粘土矿物分析和其它样品的分析工作。双方共同承担临清坳陷东部的地球化学综合研究工作。

本项综合研究报告包含区域地质背景,烃源岩显微组分、可溶组分与同位素组成剖析,有机质丰度、类型与演化规律,原油组成剖析

与油源对比,泥岩压实与油气运移研究,成烃机制、生烃潜力评价与有利勘探方向六部分十章,由江汉石油学院与胜利石油管理局地质科学研究院合作完成。报告执笔人员分工如下:前言由王铁冠和张林晔执笔,第一章刘国华,第二章钟宁宁和李佩珍,第三章侯读杰和张林晔,第四章张林晔、侯读杰和周先富,第五章张林晔和侯读杰,第六章钟宁宁、张林晔和李佩珍,第七章黄光辉和陈致林,第八章陈恭洋,第九章王铁冠,第十章王铁冠、李学田和钟宁宁,总撰稿人王铁冠、张林晔、钟宁宁和李学田。本研究报告由周光甲和洪志华审核定稿。参加本课题研究工作的还有熊波、李贤庆、王振起、王湘平、李文华。胜利石油管理局地质科学研究院地化室和江汉石油学院分析测试研究中心承担全部样品分析测试。

本报告粘土矿物数据由胜利石油管理局地质科学研究院崔松南等同志提供,微量元素数据由李保利等同志提供,薄片鉴定由王朴、唐根法、刘吉昌等同志提供,孔隙度和氯离子测定由芮利萍、李悠博等同志提供。徐金鲤同志曾对德南洼陷藻类的鉴定提出过宝贵意见。在报告写作过程中自始至终得到了区域室何立琨、宋国奇、程本合、徐春华、曹忠祥、项希勇、柳忠泉等同志的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

第一章 区域地质背景与石油勘探进展

第一节 区域地层简述

临清坳陷是在华北地台古生界沉积基础上发育的中—新生代断陷盆地。前期沉积了杂色中生界陆相碎屑岩地层,后期发育着第三

系沉积。现将临清坳陷(东部)第三系沉积自下而上简述如下:

一、孔店组(Ek):灰白色砂岩、深灰色泥岩夹油页岩、炭质页岩、灰质砂岩。底部为紫红、棕红色砂岩、砾岩夹玄武岩。顶部系棕红、紫红色砂岩与泥岩互层。全区均有分布,厚400—1000m,与下伏地层呈不整合接触。

二、沙河街组(Es):

1. 沙四段(Es₄):深灰、蓝灰色泥岩与浅灰色砂岩互层,顶部夹有炭质页岩、页片状—薄层灰岩、生物灰岩、白云岩和膏盐层。含盘星藻、介形类和轮藻化石。探井揭示厚度335—451m,地震解释最大厚度900m。各洼陷的地层厚度变化见表1—1(下同),洼陷边缘沙四段与下伏地层呈不整合接触,中心地带二者为假整合接触。

2. 沙三段(Es₃):下部以灰色泥岩为主,夹生物灰岩、鲕状灰岩或油页岩以及砂岩。中部为深灰色厚层泥岩夹不等厚砂岩。上部以灰色块状、厚层砂岩为主,顶部夹薄层生物灰岩、炭质页岩和油页岩。本段地层含介形类、腹足类和轮藻化石,中、下部富含盘星藻、渤海藻和副渤海藻。探井揭示厚度可达760m,地震解释最大厚度为900m(如德南洼陷)至1300m(如禹城、沈庄和梁水镇洼陷,见表1—1),与下伏地层为整合或假整合接触,凹陷边缘为角度不整合接触。

3. 沙二段(Es₂):主要分布于凹陷中部,岩性为棕红、紫红色泥岩、砂岩互层,含薄层砾岩,底部有少量灰质砂岩,含膏盐层。本段地层含介形类、轮藻和孢粉化石。地层厚50—800m,与下伏沙三段为整合接触。

4. 沙一段(Es₁):除高唐—堂邑凸起北部(高古1井)、土桥潜山等地缺失外,其它地区均有分布。主要岩性为灰色泥岩与粉砂岩、细砂岩互层,中下部发育生物灰岩、鲕状灰岩、白云岩和油页岩夹层,含

表 1—1 临清坳陷东部沉积洼陷数据表

凹陷	洼陷名称	洼陷面积 km ²				暗色泥岩面积 km ²				暗色泥岩厚度 m			
		Ek	Es ₄	Es ₃	Es ₁	Ek	Es ₄	Es ₃	Es ₁	Ek	Es ₄	Es ₃	Es ₁
德州凹陷 I	德南洼陷 I ₁	500	400	150	120	150	280	100	80	112	100	281	50
	孔庄洼陷 I ₂			120	188			120				294	68
	白马湖洼陷 I ₃	740	340	150	252	320	136	180	196				
	冠北洼陷 I ₄		260	470	312		250	140	132		83	144	30
莘县凹陷 II	禹城洼陷 II ₁	550	500	350	270	368	500	350	210	228	257	287	118
	肖南洼陷 II ₂			80	120			60	120				
	沈庄洼陷 II ₃	80	170	230	150		100	140	150		50	500	50
	梁水镇洼陷 II ₄	220	300	450	250	130	300	430	136	30	200	500	114
	梁村洼陷 II ₅		160	100				100					

盘星藻与颗石藻并富含介形类、腹足类与孢粉化石。探井揭示地层厚度 50—220m, 地震资料推测最大残余厚度为 300m。与下伏地层呈假整合接触, 凹陷边部为不整合接触。

三、东营组(E_d): 在高唐—堂邑、土桥等凸起和潜山部位缺失, 其它凹陷部位均有沉积。主要岩性为棕红、灰绿色泥岩与灰白色泥岩互层, 含介形类与轮藻化石, 钻井揭示厚度 45—460m, 整合于沙一段之上。

四、馆陶组(N_g): 全区广布, 岩性为杂色泥岩与灰白色砂岩互层, 底部以杂色厚层砂砾岩为主, 与下伏地层呈区域性角度不整合, 地层厚 250—350m。

五、明化镇组(N_m): 以浅棕红色粘土、含粉砂质粘土为主, 下部为棕红色粉砂, 地层厚 700—1100m, 与下伏馆陶组为连续沉积。

第二节 区域构造轮廓

临清拗陷东部系指武城—馆陶凸起以东, 鲁西隆起以西、宁津凸起以南和南乐凸起以北的北东向狭长拗陷区, 属于渤海湾盆地向西南方向沿伸收敛端, 总面积为 5910km²。

全区可分为 3 个一级构造单元, 中央部位为高唐—堂邑凸起, 西北侧为德州凹陷, 东南侧为莘县凹陷, 两凹一凸构成东西向凸凹相间的构造格局(图 1-1)。

上述一级构造单元可进一步划分为 14 个正向二级构造带和 9 个负向二级构造带(图 1-1 和表 1-1)。多年勘探实践证实: 德州鼻状构造带、高唐—堂邑潜山带、贾寨—姜店断裂背斜带、大程庄断裂背斜带和凤凰集地垒带是较为有利的正向二级构造带; 德南洼陷、

禹城洼陷、沈庄洼陷和梁水镇洼陷是较好的生油洼陷。

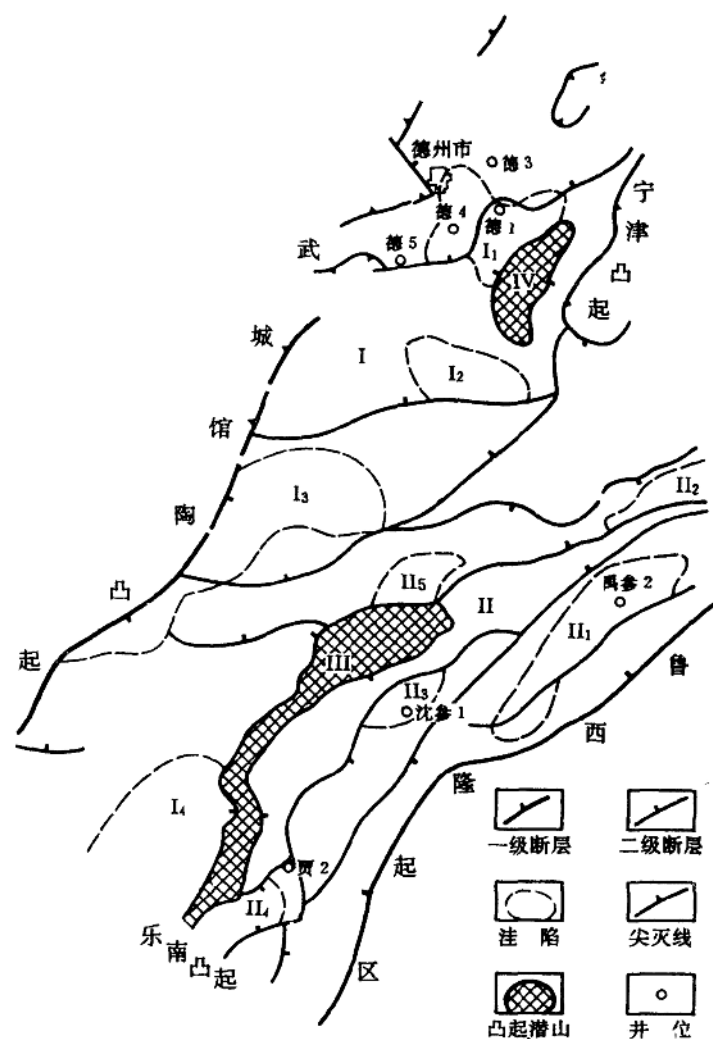


图 1-1 临清坳陷东部构造分区(据宁国奇等,1992 年,改编)

- I. 德州凹陷, I₁ 德南洼陷, I₂ 孔庄洼陷, I₃ 白马湖洼陷, I₄ 冠北洼陷;
 II. 莘县凹陷, II₁ 禹城洼陷, II₂ 肖南洼陷, II₃ 沈庄洼陷, II₄ 梁水镇洼陷, II₅ 梁村洼陷; III. 高唐—堂邑潜山带; IV. 土桥潜山。
 洼陷数据参见表 1-1。

第三节 石油勘探进展

作为渤海湾盆地的一部分,临清坳陷石油勘探持续了漫长的历程,大致可分为五个阶段:

一、概查阶段(1955—1960年),开展重、磁、电普查与地震概查,钻探华1、4井,前者发现奥陶系油斑显示。

二、普查阶段(1970—1976年),以“五一”型和模拟磁带地震仪进行地震普查。德州凹陷钻探德参1、2和许1、2井,发现沙三、四段较厚生油层。堂邑凸起南部堂古1井见奥陶系油气显示,测试产少量天然气。

三、甩开勘探阶段(1977—1986年),开展了模拟磁带和数字地震勘探。堂邑凸起上钻探康古1、2、4井,发现奥陶系油气显示,产少量天然气。莘县凹陷梁水镇—姜店一带钻探莘参1、姜1、贾1、韩1等井,发现500多米厚的沙三段暗色泥岩。

四、综合勘探阶段(1987—1992年),中原石油管理局在梁水镇一带钻探莘2井,电测复查初步解释油层12层,油水同层8层。胜利石油管理局在禹城凹陷钻禹参2井证实沙一、三段发育好生油层;在临近梁水镇洼陷的贾寨—姜店断裂背斜带西南端钻贾2井,于沙三段油斑灰质鲕粒白云岩(2层9.4m)酸化后抽汲日产油3.9t,累计产油50.7t,突破出油关;进而在沈庄洼陷钻沈参1井,同时在德南洼陷钻德1井,德1井沙四段发现油层,测试1层3.9m,日产油12.9t,沙一段泥岩的内螺壳化石发现液态原油显示(井深1897.03—1897.12m)。

第二章 烃源岩显微组分析

烃源岩是各种有机成分与无机矿物之间不同比例的复杂混合物,其中在显微镜下可识别的有机成分称为有机显微组分。本课题研究中,重点采用了以全岩分析研究技术为核心的有机岩石学方法,对临清坳陷东部7个钻孔,不同层位的56个样品进行了全面的显微组分析研究。

第一节 显微组分特征

临清坳陷东部烃源岩中各种显微组分的出现频率见表2-1,已鉴别显微组分的特征分述如下:

一、镜质组

在各类烃源岩中普遍可见,主要是无结构镜质体和镜屑体,散布在矿物沥青基质或矿物基质中,呈各种形态的碎屑颗粒或条带状(图版I-1~4,7~8)。

镜质组的富集明显与较高能水动力条件及近物源的沉积环境有关,而在低能水动力条件及远离物源的沉积环境中形成的源岩中,镜质组含量较低(表2-2)。

二、惰性组

该组显微组分在已分析样品中少见。偶尔可见丝质体和半丝质体的碎屑和惰屑体,形貌特征均为星状、角状的小颗粒,散布在矿物沥青基质和矿物基质中(图版I-5,6),分布情况与镜质组相同。

三、壳质组

主要见孢子体、壳屑体和角质体。

表2-1 临清坳陷东部烃源岩显微组分的分布

显 微 组 分 分 类			显微组分出现频率
组	组分		
镜质组	结构镜质体		+
	无结构镜质体		++
	镜屑体		++
惰性组	丝质体		+
	半丝质体		+
	粗粒体		—
	菌类体		—
	惰屑体		+
壳质组	孢子体		++
	树脂体		—
	角质体		+
	木栓质体		—
	荧光质体		—
	壳屑体		++
腐泥组	藻类体	藻类体 A	+++
		藻类体 B	+++
	无定形腐泥体	沥青质体	+
		矿物沥青基质	+++
动物有机碎屑组			—
次生有机质和沥青组	渗出沥青体、微粒体油珠、油膜等		—

注：+++ 主要显微组分； ++ 常见显微组分；

+ 少见显微组分； — 未见或罕见显微组分。

表2-2 临清坳陷东部沙河街组烃源岩镜质组含量
与碎屑沉积环境的关系

层段	注陷	碎屑沉积环境 ¹⁾	镜质组平均含量	
			%	样品数
Es ₁	禹城	远源浅湖相	1	1
	沈庄	远源浅湖相	1	2
	德南	远源浅湖相	3	5
Es ₂	禹城	近源浅湖相	51	5
	沈庄	高能浅湖相	7	1
	德南	远源浅湖—滨湖相	2	2
Es ₃	禹城	三角洲前缘—深湖相	4	7
	沈庄	较深湖相(近扇三角洲)	11	10
	德南	较深—深湖相、三角洲相	8	6
Es ₄	禹城	近源浅湖相	30	6
	沈庄	高能浅湖相	43	2
	德南	远源浅湖相	<2	5
		扇三角洲	25	1

1)据宋国奇、刘国华、陈金鹰,1992,临清坳陷(东部)石油地质特征及含
油气评价(内部)。

孢子体来源于高等植物的孢子和花粉。油浸反射光下显示深灰黑色,褐红色内反射。荧光下轮廓特征明显,易于鉴别。依切面方向不同而呈蠕虫状、椭圆形和园形。与一些单体藻类体相比,孢子体具“厚实”感,在垂直层面的切面方向常见厚的壁。其荧光色随样品埋藏深度增加和成熟度增高,由黄绿色向橙色“红移”(图版 II-2,3,4; III-3)。

壳屑体是来源不确定的细小碎屑。在荧光显微镜下,显示小短

棒状和颗粒状,大小一般不超过 $3\mu\text{m}$,荧光色黄绿至橙色,取决于样品成熟度。高度分散于矿物沥青基质中,它是孢子体、角质体等壳质组组分和藻类体的碎屑,碎屑之细使其失去了原先的生物组织结构而无法辨认其确定来源(图版 II-3, III-7, IV-3)。

角质体主要出现在富含镜质组的烃源岩中,与镜质组有相同的生源和聚积环境选择性。油浸反射光下深灰黑色,呈较弱的褐红色内反射。荧光显微镜下显示出特征的高等植物表皮组织结构,垂直层理方向切面上常见细长条带状,有时可呈局部富集的微层出现(图版 II-1, 7)。

四、腐泥组

该组显微组分是临清坳陷东部烃源岩中普遍存在的主要组分。

藻类体数量丰富种类多,堪为沙河街组源岩的特色之一。全岩光片中,藻类体的鉴别唯有依靠其荧光性。根据藻类体细胞结构的保存情况,藻类体被划分为 A、B 两个亚组分。

藻类体 A 为结构藻类体,繁星点点般分布在矿物沥青基质中,在垂直层面方向呈蠕虫状、短线纹状,在平行层面切面方向上可以清楚辨认出不同类型的藻类结构特征,诸如盘星藻和甲藻类的渤海藻、副渤海藻、刺藻等都有大量发现(图版 II-5, 6, 8, 9, III-1, 3, 4, IV-4),与微古化石分析的成果别无二致。与孢子体区别在于藻类体 A 壁薄,具有“纤弱”感。

藻类体 B 为无结构藻类体,是各种藻类彻底降解或不完全降解的产物,显微镜下不能辨认其生物结构。垂直层面方向切面上呈细长线纹状或条带状,平行层面方向切面上呈斑块状、团块状或薄膜状(图版 I-1, 2, 3, 4, III-2, 6, 7, 8, IV-3)。

藻类体的荧光特征随成熟度增高而变化,而且,在同一样品中,