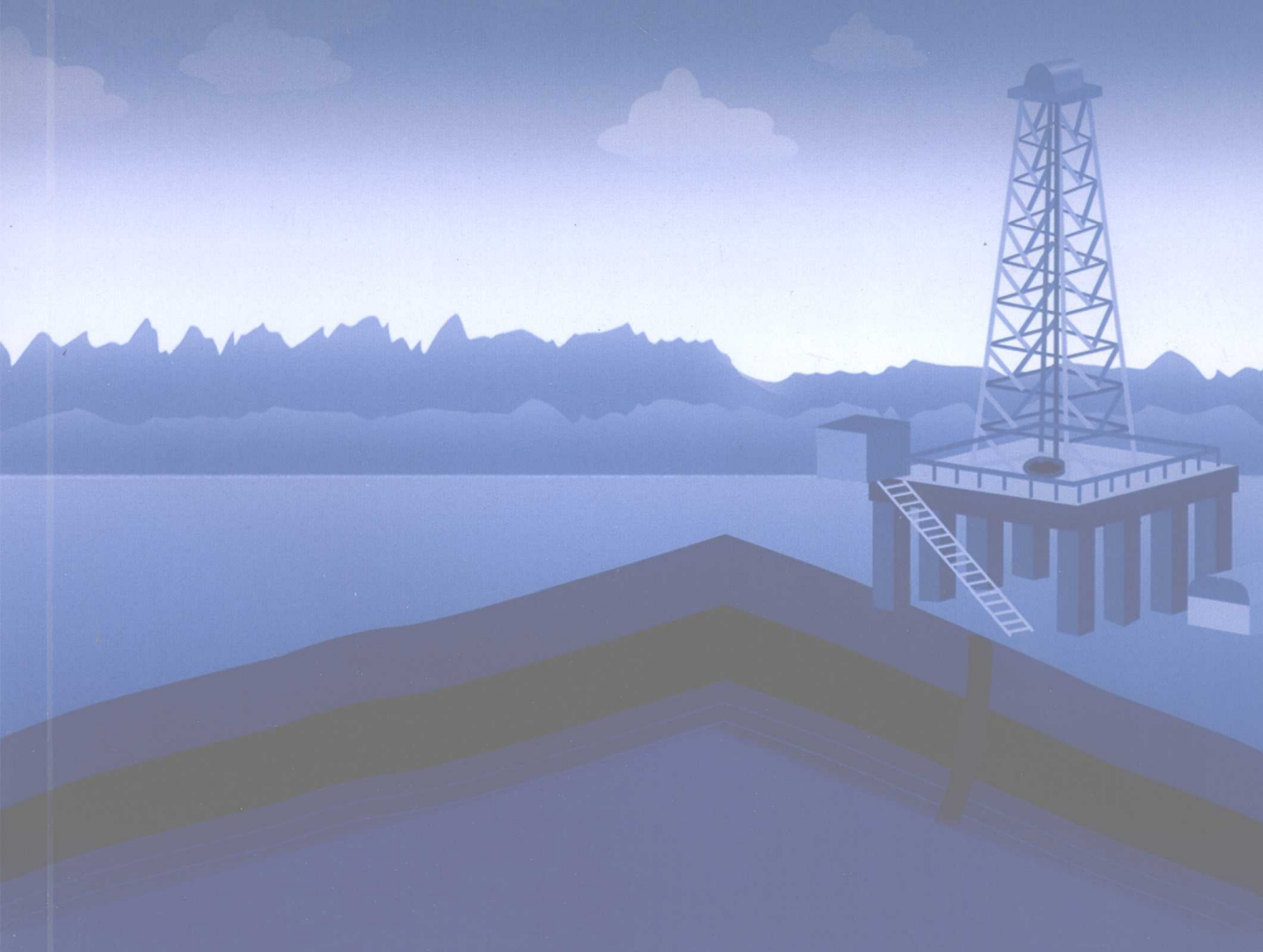


陈庆春 著

临南洼陷 油藏地球化学研究

LINNAN WAXIAN YOUZANG DIQIUHUAXUE YANJIU



地质出版社

临南洼陷油藏地球化学研究

陈庆春 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书应用当代油藏地球化学新理论和新方法,从成藏地球化学机理的角度总结了多年来临南洼陷的研究成果,重点论述了气相色谱指纹技术与含氮化合物分析技术在油气运移、油田注水开发过程中对原油组成的影响以及在合采井单层产能贡献分析、油藏连通性评价、剩余油动态监测等方面的应用,是一部理论与实践紧密结合的专著。

本书可供从事油气勘探开发、石油地质学、油气地球化学研究的广大地质工作者及有关院校石油、地质专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

临南洼陷油藏地球化学研究/陈庆春著. —北京:地质出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-116-05694-7

I. 临... II. 陈... III. 坳陷-构造油气藏-地球化学-研究-临邑县 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 084847 号

责任编辑:李 军 孙亚芸

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324569 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张:12.5

字 数:300 千

印 数:1—600 册

版 次:2008 年 6 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:35.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-05694-7

(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)

目 次

第一章 油藏地球化学理论及其进展	(1)
第一节 创立阶段	(1)
第二节 完善阶段	(3)
第三节 国内外发展趋势	(5)
第二章 区域地质概况	(8)
第一节 地层特征	(8)
第二节 构造特征	(11)
第三节 构造沉积演化	(11)
第四节 石油地质特征	(13)
第三章 烃源岩及原油地球化学	(15)
第一节 有机质丰度	(15)
第二节 有机质类型	(18)
第三节 有机质成熟度	(21)
第四节 原油地球化学特征	(24)
第五节 原油族(组)群类型划分	(36)
第六节 油藏流体非均质性主控地质因素	(46)
第四章 油气运移	(53)
第一节 油气运移动力和时间	(53)
第二节 油气运移输导体系	(53)
第三节 油气运移模式	(55)
第五章 原油指纹组成及其变化规律	(88)
第一节 原油指纹组成随储层性质的变化	(88)
第二节 原油指纹组成随生物降解和水洗作用的变化关系	(90)
第三节 原油指纹组成随时间和温度的变化	(92)
第四节 原油指纹组成随注水开发过程的动态变化	(95)
第五节 指纹稳定性分析及其变化规律	(116)
第六章 合采井单层产量贡献分析	(125)
第一节 基本原理与技术	(125)

第二节	合采井单层产量贡献研究	(128)
第三节	夏 52 块合采井单层原油产量计算	(139)
第四节	夏 32 块合采井单层原油产量计算	(148)
第五节	临 2 块单层产量分析	(156)
第七章	油藏连通性研究	(160)
第一节	商 8 块砂层连通性评价	(160)
第二节	商 13 块砂层连通性评价	(165)
第八章	储层地球化学在油藏评价与动态监测中的应用	(172)
第一节	油水层的地球化学识别	(172)
第二节	水淹层的地球化学识别	(175)
第三节	高含水层的识别技术	(178)
第四节	指纹技术在其他动态监测中的应用	(181)
第九章	主要认识与结论	(189)
参考文献	(192)

第一章 油藏地球化学理论及其进展

第一节 创立阶段

油藏地球化学理论与技术是在油气勘探与开发实践中不断发展、完善起来的。油气勘探中, 烃源岩的分布、地球化学特征及其演化规律是一个具有战略意义的问题。近 30 年来, 随着干酪根降解生油学说和生物标志化合物理论研究的日益深化, 我国涌现了诸如“源控论”、“煤成烃”以及“低熟油气”等对于油气勘探富有指导意义的新理论, 这标志着石油地球化学已经日益取得石油勘探家们的首肯与共识。

传统的有机地球化学主要面向油气勘探, 例如鉴别与评价含油气盆地的烃源岩(包括有机质类型、丰度、成熟度、热演化程度等)、进行油源对比或油-油对比、确定区域性的有机质成熟度和热演化史、计算生油量(资源量)等, 从而为勘探决策提供依据。然而, 随着全球范围内油气勘探领域的扩大和勘探难度的增加, 地球化学已经不再局限于烃源岩评价、资源量计算等传统领域。在新的勘探形势下, 许多石油公司把重点从区域性油气勘探转向专事油田开发生产和解决现有油田提高采收率的问题。同时, 精密仪器迅猛发展, 相关学科交叉、渗透更为深入。在此背景下, 油藏地球化学(Reservoir Geochemistry)应运而生。作为 20 世纪 80 年代中、后期在国际上新兴的一个地球化学分支学科, 油藏地球化学充分体现了传统有机和无机地球化学与油藏工程的紧密结合, 主要采用现代地球化学分析测试技术, 结合各项油藏工程资料, 直接研究油藏中流体和矿物的相互作用、油藏流体非均质性及其形成机理, 探索油气充注、聚集历史与定位成藏机制。从学科应用的空间位置来看, 油藏地球化学介于油气田勘探、油气田开发与油藏工程的结合部。自 20 世纪 90 年代以来, 油藏地球化学方法在油气田评价、油气成藏机理、油气田开发动态监测等方面得到了广泛应用, 取得了大量卓有成效的研究成果。

早在 1917 年, 人们就认识到油田水中存在短链的有机酸(Rogers, 1917)。但限于当时分离和鉴定技术的局限, 直到 20 世纪 70 年代末期, Carathers 等(1978)才详细探讨了加利福尼亚州 San Joaquin 谷油田和得克萨斯州海湾沿岸油田地层水中有机酸的成因、分布及意义。20 世纪 80 年代以来, 油藏地球化学的概念及研究陆续被涉及。Durand(1984)在一篇油气运移研究的综述性文章中提出了“油气藏有机地球化学”(Organic Geochemistry in Reservoir on Migration)的概念。1987 年, England 等结合 Fortiers 油田的研究, 首次将人们早已认识到的油藏流体非均质性现象与成藏研究结合起来, 提出了油藏充注与原油混合模式, 并首次阐明了油藏地球化学的内涵, 从而奠定了油藏地球化学的理论基础, 随后在西北欧的北海等地掀起了油藏地球化学研究的热潮。与此同时, 现代分析测试仪器的迅猛发展, 将油藏地球化学研究提高到一个新的水平。油藏地球化学在 20 世纪

的主要进展可归纳为以下几个方面。

1) 油藏地球化学的基本原理与基础研究: 主要包括油藏充注与油藏内流体混合作用原理 (England 等, 1987; England, 1990; Barnard 和 Bastow, 1991)、油藏内流体非均质性原理 (Leythaeuser 和 Ruckheim, 1989; Horstad, 1989; Horstad 等, 1990; Hillebrand 等, 1991; Karlsen, 1992)、焦油席及其形成机理 (Dahl 和 Speers, 1986; Ghenima 等, 1991; Wilhelmes 和 Larter, 1991a, 1991b, 1994a, 1994b, 1995; Carpentier 和 Huc, 1995)、流体包裹体研究 (Burruss, 1981, 1985, 1989; Horsfield 和 McLimans, 1984; Bodnar 和 Bethke, 1984; Etminan 和 Hoffmann, 1986; Etminan, 1989; Guihaumou 等, 1990; Barker 和 Goldstein, 1991; Karlsen 等, 1993; Emery 和 Robinson, 1993; Moore 等, 1995; Pironon, 1992, 1995a, 1995b)、流体 - 岩石相互作用机理 (Franks 和 Forester, 1984; Glasmann 等, 1989; Saigal 等, 1992; Surdam 等, 1984, 1985, 1989; Li 和 Larter, 1993; Barth 等, 1992, 1992, 1993; Helgson 等, 1993; Bjørlykke 和 Egeberg, 1993)、油藏内流体的次生变化 (Milner 等, 1977, 1987; Seifert 和 Moldowan, 1979; Palmer, 1984; Weyer, 1985; Kennicutt, 1988; Lafargue 和 Barker, 1988; Moldowan 和 McCaffrey, 1995) 等。

2) 关键技术与方法: 主要包括薄层色谱 - 火焰离子检测 (TLC - FID) (Karlsen 和 Larter, 1991; Bharati 等, 1993)、热蒸发 (即热脱附) - 气相色谱 - 火焰离子检测 (FID) 或质谱 (MS) (Bjørlykke 等, 1985, 1991, 1992, 1993; Bharati 等, 1993)、地层水或岩心储存期间蒸发残余水中沉淀盐类⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素组成的测定 (Smalley 等, 1988; Smalley 和 Oxtoby, 1992; Smalley 和 England, 1992)、气相色谱指纹分析技术 (Kaufman 等, 1990; Halpern, 1995)、非烃馏分分析及高分子量烃类分析技术 (Li, 1992, 1993, 1994, 1995; Wilhelm 等, 1993; Philip, 1995)、原油与源岩总烃馏分生物标志物组成剖析技术 (王铁冠, 1992) 和成藏流体历史分析 (Eadington 和 Hamilton, 1991) 等。

3) 油藏地球化学在油气田勘探、开发中的应用: 主要包括油藏地球化学描述、油藏内部的连通性与分隔性研究 (Slentz, 1981; Kaufman, 1990; Smalley, 1992, 1995; Hwang 和 Baskin, 1994; Hwang 和 Moldowan 等, 1994)、油气聚集史研究 (Larter 等, 1989, 1991, 1992, 1995; Ruckheim 和 Leythaeuser, 1989; Horstad 和 Larter, 1990; Miles, 1990; Karlsen, 1991; 洪志华等, 1992; Hillebrand, 1992; Skalens, 1993; England 等, 1987, 1990, 1995; 梅博文等, 1995; 廖永胜等, 1996)、古油藏剖析及成藏条件分析、油藏地球化学动态监测 (Baskin 和 Jones, 1993; McCaffrey 等, 1996)、盖层有效性评价 (Thomas, 1989; Krooss, 1989; Kroos 等, 1992; Leith 等, 1993; Caillet, 1993) 和油气运移研究 (England 等, 1987, 1990; Leythaeuser 等, 1987; Bonilla 和 Engel, 1989; Miles, 1990; Brothers 等, 1991; Krooss 等, 1992; Larter 等, 1992; Trindade 和 Brassell, 1992; Larter 和 Mills, 1992; Horstad 等, 1995; Later 和 Aplin, 1995) 等。

油藏地球化学在许多领域取得了重要进展。其中, 在油气田勘探中的应用主要包括: ①根据试井原油特征测定源岩类型和成熟度; ②通过油田充注点或运移路线的限定来帮助确定新的卫星油田的位置和区域性运移路线; ③盆地古水文学或原油蚀变控制因素的评价; ④油气藏封闭性评定。

在油藏评价和储层评价中的应用主要包括: ①流体界面的确定; ②油藏连通性确定;

③为投资和决策利用需要, 评定油柱质量和历史; ④含水饱和度 (S_w) 的计算; ⑤焦油席定位; ⑥与脱沥青有关的潜在开采问题的鉴别; ⑦流体界面的确定; ⑧石油-水-岩石相互作用及其对界面润湿性和石油黏度的影响。

在油田开发和生产监测中的应用主要包括: ①屏障(边界)定位与输入采油生产模式; ②为评价采油生产计划所进行的生产监测; ③管道漏失评定——混合的采油生产问题; ④注水突进的评定; ⑤油藏酸化机理。

在我国, 有关油藏地球化学的研究最早主要涉及油田水有机酸分析, 即研究“生油层-储层的有机-无机相互作用”对储层物性的影响, 主要可归纳为以下几个方面: ①识别油层与认识其含油性(洪志华等, 1992); ②油气有机地球化学描述(王培荣等, 1993; 张敏等, 1997); ③储层烃地球化学研究, 特别是油源和油气运聚带研究(王廷栋等, 1995, 1996; 梅博文等, 1995); ④合采油层(二层)产量分配研究(林壬子等, 1997; 王铁冠等, 1999)。

第二节 完善阶段

进入 21 世纪以来, 油藏地球化学主要集中于前述研究领域的深层次分析, 由此得到了进一步的发展和完善。

1. 油气成藏地球化学研究

陈建渝等(2000)根据原油及烃源岩生物标志化合物的组成划分原油类型, 进行油源对比, 从而确定油气多期次运移和成藏特征。邓津辉等(2002)采用正构烷烃、烷基菲、烷基硫芴以及烷基芴研究石油二次运移初期分馏效应。伍新和(2000)、常象春等(2004)、张铭杰等(2004)、刘文斌等(2003)、刘斌等(1998)、马安来等(2004)、钟宁宁等(2000)、朱炎铭等(2005)利用油气包裹体均一温度、激光拉曼、烃类组分分析研究油气运移聚集史、流体成藏史、油气注入成藏过程等。张有瑜等(2004)利用油气储层中自生伊利石 Kr-Ar 同位素测年来研究成藏年代学。王显东等(2003)利用储层成岩矿物的变化、储层沥青及焦油席的位置、含油包裹体丰度(GOI)等来恢复古油水界面。赵志东(2004)利用地化热解参数、热解气相色谱计算出的含油饱和度判别储层性质, 建立储层判别标准。

国外在成藏地球化学领域的研究亦多是围绕油气流体包裹体开展。此外, Schab 和 Spangenberg(2004)利用稳定碳同位素和生物标志物分布识别出斯洛文尼亚 Idrijca Valley 碳酸盐岩剖面中沉积有机质存在藻类和细菌生物的贡献。Simon C. George 等(2001)借助储层流体包裹体中的油气组分, 通过 GC-MS 测试和荧光分析, 提出用一种新的“二甲苯并噻吩”参数和荧光颜色来界定油气成熟度。Michael N. Timofeeff 等(2000)利用环境扫描电子显微镜组合和 X-射线衍射仪进行了成岩矿物中流体包裹体组成元素的定量化学分析。

2. 高分子量烃类分析研究

Eric Mueller 等(1998)利用索氏抽提从尤因塔盆地 Green River 组黑色页岩相中获得了高分子量烃类, 并通过地化分析得出这正是本区源岩生成烃类的主要特征。Jose C del

Rio 等 (1999) 利用 FIMS 研究了尤因塔盆地原油和固体沥青的烷烃组成, 获得了高达 C_{110} 的烃类分布, 并得出固体沥青主要由正构烷烃、环烷烃的同系物组成, 且在高分子量烃中以单环烷烃占优势, 而原油则主要由无环化合物, 特别是正构烷烃组成。Michael Hsieh 等 (2001) 认为原来人们只是认为陆源有机质中才会有高分子量烃类, 但高温气相色谱技术却揭示在陆相、湖相和海相源岩中普遍检测到高达 C_{120} 的烃类组成, 而且主要是长链脂肪族和烷基芳香烃。在 C_{42} — C_{46} 烷基环戊烷中的 CPI 可用于表征原始沉积环境, 且不受成熟度、时间和生物降解的影响; 同样, 源岩与原油中高分子量烃类分布特征的差异可反映运移效应。Tuo Jincai 等 (2003) 报道了柴达木、辽河与塔里木盆地陆相源岩中高分子量烃类的产状和分布, 并提出根据奇偶优势、高分子量烃的浓度等来判识母质来源、沉积环境和进行油源对比。卢鸿等 (2001)、张枝焕等 (2004)、王铁冠等 (2003) 采用高温气相色谱技术, 分析了渤海湾盆地千米桥奥陶系古潜山油气田的高蜡凝析油, 检测出其高分子量蜡馏分主要由 C_{35} — C_{69} 正烷烃组成, 并利用高蜡凝析油与周缘高蜡原油的高分子量正烷烃作对比, 结合原油含蜡量的平面分布, 提出油气主要来自千米桥东侧的歧口凹陷; 此外, 还运用原油的 9 项成熟度参数, 结合 3 项含氮化合物参数, 确认千米桥古潜山高蜡凝析油是从北东至南西方向充注的。Zhao Hong 等 (2003) 利用高温气相色谱对南阳凹陷原油和源岩中 C_{40}^+ 的烃类进行了起源和定量化研究, 认为其分布特征与烃类生成及保存特征紧密相关。Michael Hsieh 等 (2003) 利用 HTGC 把高分子量烃类的表征扩大到 C_{120} , 并对其化学结构进行了解剖, 认为主要是由甲基支链的烷烃类、甲基环戊烷类、甲基环己烷类、甲基苯类和甲基环烷烃类的同系物组成。Huang Haiping 等 (2003) 从岩石学、生物标志物、高温气相色谱等方面分析了大民屯沙河街组高蜡烃类的特征, 认为沙三段和沙四段是本区蜡质烃类的可能来源。

3. 混源油藏地球化学研究

目前的研究成果可归纳为以下几个方面:

1) 利用地质地球化学技术判别混源。如 Dzou L I 等 (1999) 提出利用一种新的二萜烷来识别混源效应; Peters 等 (1999) 报道了 Scotland 海相与陆相混源油及 Inner Moray 的两套烃源层的混合实例; 王培荣等 (2002) 通过莺歌海、江汉、塔里木盆地和珠三坳陷 4 个混源油实例的研究, 提出利用“轻、中、重组分全面剖析原油和多因素综合研究”的思路; 庞雄奇等 (2002) 利用吡咯化合物研究了八面河油田的运聚效应, 提出了八面河油田油源来自牛庄和广利洼陷、以成熟油为主、混合了少量未成熟油的观点。

2) 利用储层成岩矿物流体包裹体进行多期成藏的期次确定。如高岗等 (2002) 利用储层有机包裹体特征结合成岩作用, 研究了平落坝构造气藏的注入时期; 柳广弟等 (2002) 通过流体包裹体和自生伊利石同位素年代学, 认为焉耆盆地发生过两期成藏过程; 钟宁宁等 (2002) 利用流体包裹体对黄骅坳陷三马地区沙一段油藏进行了成藏流体历史重建。

3) 利用实验模拟估算二元混合油的比率。如王文军等 (1999) 经过实验模拟提出未熟油和成熟油不同比例混合, 会使混合油的成熟度参数出现变化, 进而提出了实验室求取混合比率的混合图版; 李素梅、庞雄奇等 (2002) 提出了利用标样共注绝对定量技术, 建立了 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha S / (S + R)$ 与 C_{27} , C_{28} , C_{29} $\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷的原油混合理论图版, 来计算金湖凹陷的油气来源贡献; Chen Jianping 等 (2003) 通过人工模拟实验, 研究了彩南油

田混合油定量比率及油源对比；宋孚庆等（2004）提出利用三芳甾烷/三芳甲藻甾烷为参数估算生物降解原油的混合比例；王铁冠等（2004）以塔河油田奥陶系两期成藏原油为例，提出利用混合油样气相色谱图中可分辨组分与未分辨复杂混合物（UCM）的峰面积比值来建立混合油样配比率与 R/U 的相关测算图版，进而计算原油充注比率；梁宏斌等（2004）通过典型原油混合实验及其产物的地球化学剖析，利用饱和烃生物标志物和芳烃化合物绝对浓度的变化规律，建立了冀中拗陷苏桥—文安地区混源油的定量识别模式图版。

4. 油田生产动态监测

目前的研究成果主要有以下几个方面：

1) 高分辨气相色谱指纹技术研究合采井单层产量贡献。邹宇峥等（2001）、常象春等（2000）、陈世加等（2001）、何文祥等（2001）报道了利用色谱指纹技术计算单层产量贡献的几个实例。邹宇峥等（2001）讨论了色谱指纹技术应用过程中的缺陷，提出了利用内标法和偏最小二乘法的改进方案。金晓辉等（2003）通过实验模拟分析了色谱指纹化合物的可配比性，认为其不但取决于生成原油的地质背景，而且还与原油组分的性质、浓度以及色谱分析的分选度和定量方法等因素有关。邹宇峥等（2000）探讨了利用紫外光谱法研究单层产量分配。付晓泰等（2000）提出了利用高效液相色谱预测两油层合采过程中单层的产量分数。

2) 油藏连通性评价。根据色谱指纹技术获得特征指纹参数，可以通过极坐标（星状图）图示定性分析油藏流体的连通性（黄保家等，2002；尹伟等，2002；王宇蓉等，2002；文志刚等，2004）。何文祥等（2004）将原油的气相色谱指纹图谱看作多维空间内的向量，利用向量夹角法计算两个色谱指纹图谱间的相似度，尝试性地建立了定量判定油藏连通性的方法。

3) 原油组分随着原油开发过程的规律变化。刘晓艳等（2000）利用 GHM 烃分析仪对水驱模拟实验过程中不同阶段的采出原油进行了分析，实验表明原油的采出程度与采出流体占岩心中所含总流体的分数（PV 数）之间具有良好的对应关系，随着采出程度逐渐提高，原油中正构烷烃的碳数范围及主峰碳数逐渐后移，原油的轻/重组分比值呈现降低趋势，某些在空间上呈圆柱形、具有规则支链的分子比相近碳数的直链分子更容易被驱出。陈祖林等（2002）分析后认为原油饱/芳比值随开采时间的推移呈下降的趋势，随着开采时间的增长，原油中正构烷烃的主峰碳数后移，原油的轻/重组分比降低，原油碱性氮、有机酸等非烃类化合物随开采时间的推移也呈降低的趋势。这些变化与原油在驱替过程中的自然色层吸附作用机理和原油中各种组分不同性质及其相互作用有关。

第三节 国内外发展趋势

随分析测试技术的发展和水平的提高，油藏地球化学必将在油气勘探开发领域发挥出更出色的作用。特别是在油气成藏研究方面，非烃化合物分析技术近些年已在有关油气运移、对油层润湿性影响等方面显示出强大的应用潜力。高温气相色谱解剖高分子量烃并应用于判别烃源灶、母源输入、烃类充注和研究成藏后改造以及油藏地球化学应用于定

量化研究成藏年代学仍会是热点和重点。通过烃类流体包裹体测试,可以确定烃类流体充注过程和历史,识别古流体的存在与活动过程,定量分析各期油气充注的成藏贡献率,确定古油水界面的变迁。此外,成岩自生矿物、储层固体沥青和油田卤水碘同位素定年也会促进成藏研究从定性向定量化发展。根据油藏中高分子量化合物、生物标志物的研究,还可以优化油藏管理。在油气聚集或开采的过程中,某些固体成分从原油中沉淀,这些沉淀下来的固体成分包括从高分子量烃类至沥青和沥青质。沉淀作用可能发生在油藏中,或者在油层套管乃至储罐中,从而可能在油藏内部形成障碍和(或)在管道自身中产生堵塞。如果充填在孔隙中,固体产物可能限制孔隙通道,并且改变矿物表面的润湿性特征,从而影响油藏质量。因此,在进行油藏表征和对石油成藏系统进行评价时,研究石油衍生的固体产物就像研究碳酸盐胶结物、硅酸盐胶结物或自生粘土矿物一样重要。这些物质的存在还可能引起油层的损害,通过细颗粒成分的运移导致孔隙度的降低。

油藏地球化学在油田开发和生产动态监测中的应用也会更加深入,主要表现在以下几个方面:

1) 定量研究油层连通性。目前,利用油藏地球化学技术分析油藏连通性多是根据色谱特征指纹,利用极坐标方式表示,定性地判断连通性好坏。如果将原油的气相色谱指纹图谱看作多维空间内的向量,利用向量夹角法计算两个色谱指纹图谱间的相似度,将其作为油藏流体连通性的下限值,则可使连通性研究定量化。

2) 进行作业措施效果评价。通过气相色谱指纹技术可以监测、分析卡、堵水、管外串等作业措施效果,进而指导生产部署的调整和优化。

3) 定量识别高含水层。油田水是油藏流体的重要组成部分,它与岩石和油气的长期作用不仅改变了岩石的性质,也改变了地下水本身的物理性质和化学成分。油田水中溶解有丰富的溶解烃类、有机酸、酚等有机组分,不同组分在油、水两相中具有不同的分配系数。因此通过建立单采井含水量与水中可溶有机组分的统计关系,可以确定油、水混合液中水的含量。不同有机物在水中溶解度差别较大,例如咪唑、正己烷、苯和喹啉的溶解度分别为1.8, 9.5, 1750, 6100mg/L,而醋酸在水中的溶解度非常大;在油、水两相中的分配系数也相差很大,例如C₀—C₃烷基酚类、C₀—C₂烷基咪唑类分别为0.1~200和500~30000,苯、甲苯、萘和1-甲基萘在正庚烷和水中的分配系数分别为180, 570, 2800和8000。因此原油中某些化合物的比值,例如苯/正己烷,在水中苯含量达到饱和之前应该随产液量中含水的增大而减小。由于苯、甲苯等化合物在水中有较高的溶解度、原油中该类组分易于检测定量等原因,下文将重点讨论这类组分的变化规律。

4) 评价水驱效果。随着开采时间增长,大部分井(不论是单采井还是合采井)原油中的饱和轻烃质部分含量减少,大部分情况下是由注水冲刷油层造成的,因为饱和烃的轻质部分比中、重质部分在地层水中的溶解度要高一些。因此,可以利用一些原油组分(参数)的规律性变化来评估油井的水驱效果。

5) 细分流动单元及分析注采对应状况。立足于油藏有机成分的平面变化规律,评定井网砂体连通性及级别,建立评价标准。原油成分、地层水中同位素比值⁸⁷Sr/⁸⁶Sr是油藏连通与否的可靠指标,应用这些指标可以定性判断各油砂体的连通性,细分流动单元。对于注水开发油田,注采状况的好坏一直缺少质优价廉的监测方法。

6) 研究开发过程中剩余油的分布特征、控制因素及其地球化学监测方法。通过探索

定量监测剩余油分布的地化技术，揭示油藏流体在平面上和纵向上的非均质性变化以及流体随开发过程变化的规律，结合精细油藏描述中建立的构造、储层、油藏等3个模型，定量研究平面、层间和层内剩余油的分布，揭示油藏开发规律，为提高采收率服务。

7) 识别水淹层。根据水淹层中原油性质发生变化的地球化学信息识别水淹层。

第二章 区域地质概况

第一节 地层特征

惠民凹陷是发育在华北地台之上的中、新生代断陷盆地，为济阳拗陷最大的一个次级凹陷，北以陵县-阳信断裂与埕宁隆起分界，南以齐河-广饶断裂与鲁西隆起毗邻，东、西两端分别与东营凹陷和临清拗陷的禹城凹陷相连，可细分出临南、滋镇、阳信、庙北和里则镇5个注陷及中央隆起带、南斜坡等次级构造单元。临南注陷是其中最重要的注陷，位于惠民凹陷西端中部，北以中央隆起与滋镇注陷相隔，南面由临南斜坡向鲁西隆起过渡，受北倾的夏口断层和南倾的临商断层控制，构成不对称的地堑式结构（图2-1）。

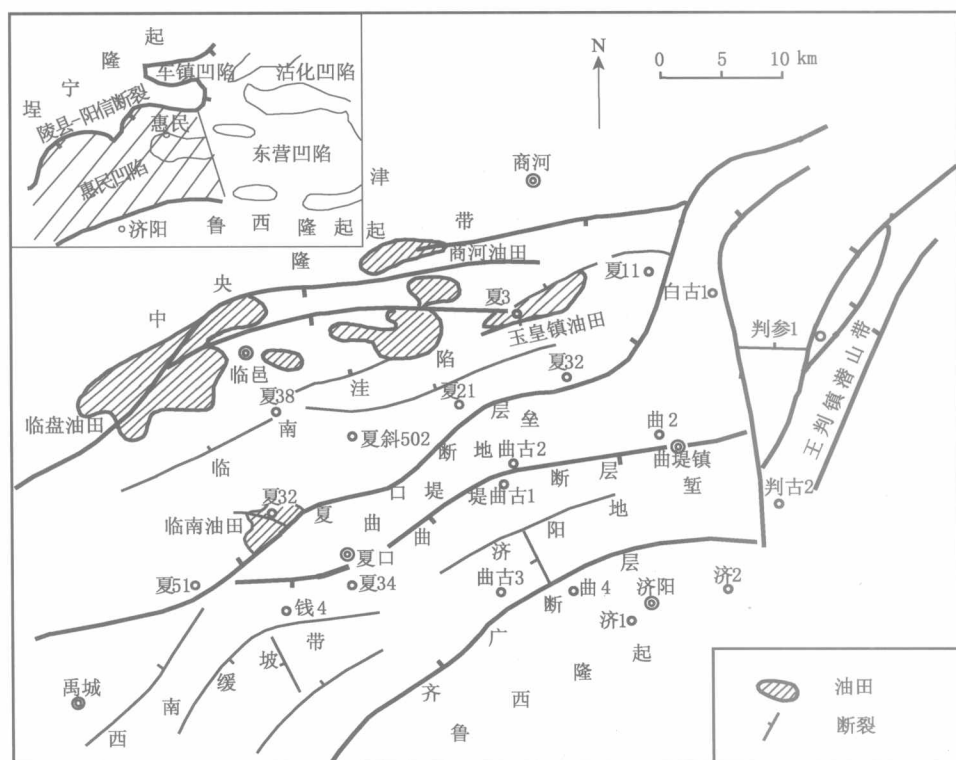


图2-1 研究区位置及构造单元划分

惠民凹陷基底由太古宇及古生界组成。其上发育有下古生界的寒武系、奥陶系，上古生界的石炭系、二叠系，中生界的侏罗系、白垩系，及新生界的古近系、新近系、第四系。古近系自下而上特征如下（图2-2）。

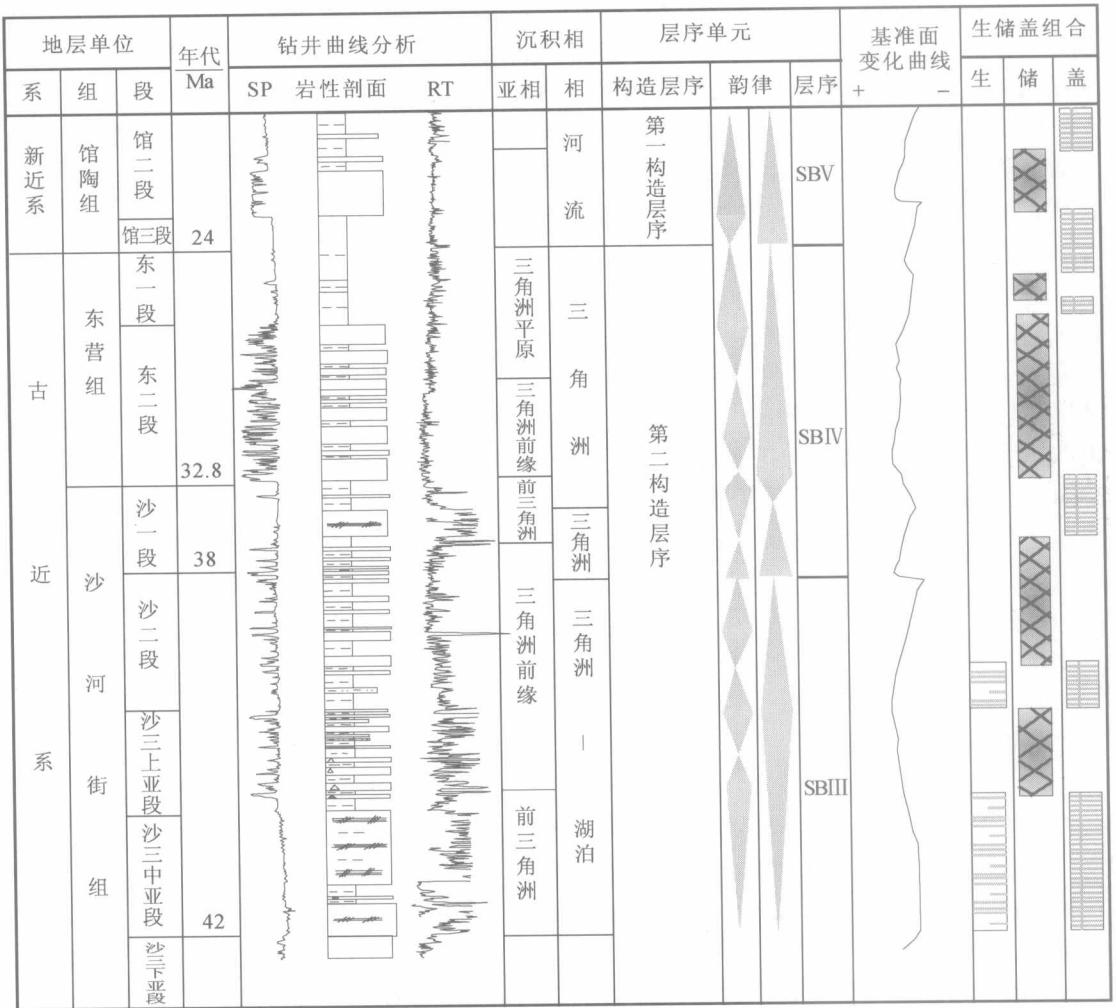


图 2-2 惠民凹陷古近系、新近系地层综合柱状图
(据临盘采油厂, 2000)

1) 孔三段 (Ek^3): 灰绿色、紫灰色厚层玄武岩, 夹少量紫红色、灰绿色、灰色泥岩, 普遍含灰质、砂质及小砾石, 并含大量方解石脉, 砂岩、砾岩分选很差。

2) 孔二段 (Ek^2): 以深灰色、灰绿色泥岩夹砂岩、含砾砂岩、油页岩、炭质泥岩为特征, 夹少量薄煤层及安山岩。见有被子类的三沟粉属、网面三沟粉属、漆粉属, 以及蕨类的水龙骨单缝孢属等孢粉化石。

3) 孔一段 (Ek^1): 岩性以棕色、红色粉砂岩、细砂岩夹紫红色泥岩为特征。见被子类的榆属、栎属、胡桃属、桦属等, 裸子类的杉科、单束松粉属, 以及蕨类的水龙骨单缝孢属等孢粉化石。

4) 沙四 (沙河街组四段) 下亚段 ($Es^{4(下)}$): 岩性以紫红色、灰色泥岩和灰色、棕色粉砂岩互层为特征。见有渤海藻、真蕨目, 裸子类的麻黄属, 被子类的栎属、榆属、桦科、芸香科、枫香粉属等化石。

5) 沙四中亚段 ($E_s^{4(中)}$): 以灰色泥岩、灰白色粉砂岩互层为特征, 含白云质及石膏成分。见有美星介、真星介、金星介和拟星介属的介形虫化石和真蕨目, 裸子类的松属、雪松属、杉科、麻黄属, 被子类的胡桃属、榛属、栎属、榆属、木兰属等孢粉化石。

6) 沙四上亚段 ($E_s^{4(上)}$): 以灰色、灰褐色砂、泥岩互层为特征, 夹少量炭质页岩。见有真蕨目、水龙骨科、金毛狗属, 裸子类的松属、雪松属、杉科、麻黄属, 被子类的胡桃属、榛属、栎属、榆属、木兰属、唇形科等孢粉化石, 以及南星介属、金星介属、玻璃介属等介形虫化石和潜江扁球轮藻化石。

7) 沙三(沙河街组三段)下亚段 ($E_s^{3(下)}$): 岩性自西向东变为深湖相暗色泥岩、油页岩, 厚度具有明显规律性变化。商河油田区地层厚度较小, 均小于 100m。从商 1 区至商 2, 商 3, 商 4 区, 厚度具有略增趋势, 钻井控制最小厚度为 8.6m。西南侧肖庄地区地层亦较薄, 厚度小于 100m。临邑断裂上升盘厚度多在 100~250m 之间, 下降盘至洼陷内部厚度明显大于前者; 临邑断裂帚状断层撒开部位为沉积厚度带, 钻井控制最大厚度为 388.4m。临南斜坡带地层厚度变化不大, 自洼陷向斜坡方向, 地层厚度逐渐减小。玉皇庙地区为沉积厚度较大的区域, 厚度接近于 250m; 曲堤地区厚度较小, 因后期剥蚀, 地层减薄, 残余厚度在 100m 左右, 出现两个小的剥蚀区, 位于曲斜 8—曲斜 9—曲 902—曲 12—曲古 1 井区和曲 2—曲 3 井区。此阶段火成岩主要集中于商 1 区和玉皇庙区。见中国华北介、惠东华北介、小拟星介、隐瘤华北介等介形虫化石, 孢粉组合表现为裸子植物大为减少, 松科减少, 麻黄粉个别出现, 被子类的栎属含量增加, 榆钱属减少, 表明温度和湿度不断升高。

8) 沙三中亚段 ($E_s^{3(中)}$): 东西向岩性差异特征明显。商河油田区十六韵律段、上油页岩段、下油页岩段、深灰色泥岩发育, 盘河砂体不发育; 向西逐渐相变为深灰色泥岩或砂、泥互层沉积, 上油页岩段、下油页岩段韵律数减少, 油页岩单层变薄、层数减少, 泥岩、砂岩增多, 灰质成分增多。地层分布受临邑断裂、夏口断裂控制作用明显。商河油田区地层厚度小于 250m, 地层较薄。受临邑断裂体系的控制, 洼陷内发育 3 个沉积厚度区。最西侧的唐庄地区, 钻井控制最大厚度为 486m; 中间洼陷区, 沉积中心位于营子街区, 钻井控制最大厚度为 523m; 东部的玉皇庙地区, 钻井控制最大厚度为 427m。临邑断裂上升盘因剥蚀, 地层减薄, 厚度一般小于 200m, 自西向东地层略有增厚趋势。夏口断裂上升盘即夏口、曲堤地区, 地层厚度较薄, 曲 2—曲 3—曲斜 16—曲斜 9—曲 103—曲 105—曲 12—曲斜 8—曲古 2—曲斜 14 一线存在一个近东西向的剥蚀区; 自夏口断裂向南, 地层厚度具有减薄趋势。见有拟脊华北介、小拟星介、惠东华北介等介形虫化石, 孢粉组合同沙三下亚段相似, 麻黄粉属更少, 栎属含量增加。

9) 沙三上亚段 ($E_s^{3(上)}$): 岩性差异仍然持续。在商河地区发育的标志层八韵律段, 向西渐变为灰质砂、泥岩沉积夹薄层灰质泥岩、油页岩。全区厚度变化明显受临邑和夏口断裂层的控制。曲堤地区继承了沙三中时期的剥蚀区, 在盘河古隆起区沙三中亚段地层因剥蚀作用减薄或缺失, 剥蚀区方向平行于临邑断层的走向。沙三上亚段沉积时期, 中央隆起带将临南洼陷与滋镇洼陷分隔开来, 仅在宿安一带相通; 地层沉积厚度也具有这一特点, 宿安地区沉积厚度明显大于两侧, 均大于 500m。

10) 沙二(沙河街组二段)下亚段 ($E_s^{2(下)}$): 岩性以灰色、棕色泥岩为主, 夹砂岩。见椭圆拱星介、博兴假玻璃介, 孢粉组合为裸子类松属, 杉科含量高, 麻黄属含量增

加,被子类以栎属为主,榆属、榛属、胡桃属含量也较多。

11) 沙二上亚段($E_s^{2(上)}$):岩性以灰绿色、紫红色泥岩与灰色砂岩互层为特征,夹少量炭质页岩。见长形拱星介、椭圆金星介、肖庄美星介、平方王华北介等介形虫化石,孢粉组合为蕨类的凤尾蕨属,水龙骨单缝孢属少量出现,裸子类的麻黄粉属含量较高,被子类代表干热型的栎属、芸香粉属、唇形三沟粉属、藜粉属较多出现。

12) 沙(沙河街组)一段(E_s^1):下部为灰色、紫红色泥岩与灰白色粉砂岩、细砂岩互层,夹少量生物灰岩、灰岩和白云岩;中部为生物灰岩、鲕状灰岩、针孔灰岩、灰岩及白云岩与泥岩呈薄互层出现,夹少量油页岩;上部以灰色泥岩和棕褐色油页岩为主,夹少量白云岩和粉砂岩。含惠民小豆介、李家广华北介以及均匀狭口螺等化石。

13) 东(东营组)二段(E_d^2):灰白色粉、细砂岩与灰色泥岩互层。

14) 东一段(E_d^1):灰、灰绿色、棕红色泥岩为主,夹少量粉砂岩和薄层泥灰岩。东营组含弯脊东营介、指纹东营介、花瘤东营介、车镇华北介等化石。

第二节 构造特征

本区寒武纪前发生了泰山、五台、吕梁等3次大的构造运动,缺失元古宇,仅见太古宇泰山群,形成了地台的古基底。由于加里东运动期间地层升降平稳,地层沉积厚度稳定,横向变化很小。奥陶纪后期,地层上升接受长期风化剥蚀,区内主要断层已开始发育,构造格局出现雏形。由于地层抬升,缺失上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统的沉积。晚石炭世海西运动期间,地层平稳下降,本区接受了海、陆交互相的上石炭统及二叠系沉积,从而形成奥陶系与石炭系之间的假整合接触关系。其间,断层逐渐发育,构造形态逐步形成。中生代印支运动期间,地层下降接受陆相沉积。侏罗纪、白垩纪,本区出现强烈的燕山运动,对本区影响很大,使本区出现了起伏较大、高低不平的古风化剥蚀面。断裂活动剧烈,断层大起大落,从而形成了多个古潜山构造,如曲堤、章北、王判镇潜山等。喜马拉雅运动期间,断陷活动进一步发展,5个次级洼陷沉积了巨厚的河湖相地层,济古1井潜山、王判镇潜山等古山头继续上升遭受风化剥蚀,直到明化镇期才下降接受沉积。

区内断层发育,重要的控盆断层有陵县-基山断裂、齐河-广饶断裂、临邑断层和夏口断层。特别是后两条断层,是形成临南洼陷的控盆断层,对具有不对称地堑结构的临南洼陷的沉积和油气分布具有明显控制作用。

第三节 构造沉积演化

惠民凹陷第三纪裂谷盆地经历了孔店组一沙四段沉积初始裂陷沉降期、沙三段一沙二下亚段沉积强烈沉降深陷期、沙二上亚段一东营组沉积裂陷回返期和新近纪、第四纪萎缩期4个阶段,与之对应的构造演化也可分为4个阶段,各个阶段在构造和沉积上均具有不同的特点。

1. 孔店组—沙四段沉积期：盆地初始裂陷沉降期——伸展半地堑充填时期

该时期由于主控断层滋镇断层和陈南断层强烈活动，造成本地区强烈下陷，导致河湖相碎屑岩充填。早期属于旋转半地堑，中、晚期属于滚动半地堑。阳信洼陷可能为该时期的沉积中心。由于该时期处于裂陷初期，湖盆水体范围较小，湖盆缓坡带的河流携带大量沉积物入湖形成辫状河、辫状三角洲—浅湖沉积体系。随着盆地裂陷作用的增强，湖水进一步扩张，水体变深，形成了代表较深水湖相的灰黑色泥岩、油页岩沉积。因而孔店组—沙四段总体呈退积叠加样式。惠民凹陷主体部位钻遇该层位的井很少。边缘少量钻井揭示沙四段下部以紫红色、灰色泥岩与粉砂岩互层为主。沙四段上部在西部洼陷边缘以灰色、灰褐色砂、泥岩互层为特征，夹少量炭质泥岩；东部商河地区油页岩发育。沙四段沉积晚期，盆地基底略有抬升；但除东部的林樊家地区出现剥蚀作用外，盆地主体部位仍为连续沉积。

2. 沙三段—沙二下亚段沉积期：盆地强烈沉降深陷期——断块强烈活动时期

此时期伸展裂陷作用强烈，开始出现多个沉降中心，盆地基底经历了从最大沉降到逐渐回返上升的阶段。边界断层活动的不均一性以及凹陷内部构造活动的分区性导致各二级构造单元演化史的差异，不同地区沙三段沉积厚度差别较大。沙三段沉积时期，凹陷中部形成的中央隆起带及伴生的基山槽对各洼陷的沉积具有明显的分割作用。隆起北侧为滋镇洼陷，南侧为临南洼陷。曲堤断阶带作为凹陷的南斜坡区，由于夏口断裂的活动和后期的剥蚀作用，沙三段地层厚度最薄，仅为 100~200m；位于中央隆起带东、西两侧的商河和盘河构造断裂带，由于处于临邑大断裂落差最大的地区，抬升较高，沙三段地层厚度较薄，一般为 500~900m；地层厚度最大的地区为田家基山槽发育区，最大厚度为 1900m 左右，一般厚度为 900~1200m。滋镇洼陷地层厚 800~1200m；临南地区厚 1000~1300m。

形成于盆地深陷期的沙三段地层自下而上表现为粗—细—粗的旋回。沙三下亚段上部和沙二中亚段沉积时期，惠民凹陷裂陷作用最明显，盆地基底沉降幅度大，物源补给不充分，由于欠补偿沉积作用，较深水湖相发育，形成一套深灰色、灰色泥岩、油页岩夹砂岩或与砂岩不等厚互层沉积。沙三下亚段在临南洼陷边缘为灰色泥岩与砂岩互层，在主体部位则为厚层油页岩、深灰色泥岩与砂岩不等厚互层或夹砂岩沉积；在滋镇洼陷，由于湖水相对较深，表现为油页岩与钙质泥岩薄互层或夹薄层砂岩。沙三中亚段在临南洼陷以深灰色泥岩、油页岩为主，局部夹薄层砂岩、粉砂岩；中央隆起带基山槽发育区为深灰色泥岩与粉、细砂岩不等厚互层沉积。

沙三上亚段沉积时期，由于来自不同方向的三角洲体系向湖盆逐步推进，砂岩层数增多，厚度逐渐变大，呈明显的进积、加积特征；泥岩颜色也逐渐变浅，开始出现灰绿色、红色。沙二下亚段沉积时期，盆地基底进一步抬升，物源补给作用加强，盆地地形趋于平缓，凹陷基本被河流—三角洲体系所占据。由此可见，沙三段—沙二下亚段沉积以湖相开始，水体逐渐加深，直至滨浅湖相、河流—三角洲相广布，经历了水体变深再变浅、岩性变细再变粗的全旋回过程。

3. 沙二上亚段—东营组沉积期：裂陷回返期——断块活动复杂化时期

沙二上亚段沉积时期为次级裂陷期，开始了湖盆的另一个裂陷期，但裂陷强度明显减弱。沙二上亚段发育以冲积—河流相为主的灰色泥岩、棕红色泥岩与砂岩不等厚互层的沉