

潍北凹陷孔店组烃源岩生烃史与油气成藏期分析

刘 华¹, 李振升¹, 蒋有录¹, 徐昊清², 王 鑫¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 257001)

摘要:为深入认识渤海湾盆地潍北凹陷油气藏的形成过程和油气分布,利用 IES-PetroMod 盆地模拟和流体包裹体研究方法对潍北凹陷孔店组烃源岩的生烃史和油气藏形成时间与期次进行了分析。结果表明,潍北凹陷发育孔二段上、中、下 3 套烃源岩,存在北部深洼区和东南部 2 个沉降中心,以北部深洼区为主体,具有 2 次生烃过程;沙四段沉积中期至沙河街期构造运动为第一次生烃,生烃中心以北部洼陷带为主,且 3 套烃源岩均已进入成熟生烃阶段,生烃持续时间长,生烃贡献量大;后期东营期构造运动的剥蚀使得生烃作用基本停滞,仅在晚期沉降量大于剥蚀量的西北部地区于馆陶中后期存在二次生烃。该区已发现的油气藏具有明显的 2 期成藏特征:沙四中期至沙河街期构造运动是油气的第一期充注,研究区大部分的油气藏形成于该时期,受各项地质条件的限制,分布在保存条件较好的灶户鼻状带;馆陶中后期至今为第二期充注,仅在二次生烃区及其附近形成油气聚集,是寻找深部天然气的有利地区。

关键词:二次生烃;成藏期次;流体包裹体;生烃史;潍北凹陷

中图分类号:TE122.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-1926(2014)10-1537-10

引用格式:Liu Hua, Li Zhensheng, Jiang Youlu, *et al.* Hydrocarbon generation history and accumulation period of the Kongdian Formation in Weibei Depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(10):1537-1546. [刘华, 李振升, 蒋有录, 等. 潍北凹陷孔店组烃源岩生烃史与油气成藏期分析[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(10):1537-1546.]

0 引言

位于渤海湾盆地东南部的潍北凹陷是一个受郯庐走滑断裂影响形成的拉分—断陷盆地^[1-3],东营末期经历了强烈的构造剥蚀,且剥蚀作用具有南强北弱的特点^[4-6],虽然已经在孔店组发现了大量的油气,但油气平面分布不均^[1],成藏机理不清,整体勘探效果欠佳。作为油气成藏机理分析的关键问题——“油气藏形成时间与期次”是识别有效圈闭和准确判定油气成藏过程^[7-9]的关键,其不确定性严重制约了对油气分布规律的认识和勘探方向的选择。突出问题表现在以下 2 个方面:①孔店组烃源岩在不同时期的生烃范围和生烃能力差异,缺乏对烃源岩生烃史的整体认识;②油气富集区正对应着构造

运动相对强烈的东南部,这一现象该如何解释?基于此,笔者以构造背景分析为基础,对潍北凹陷主力烃源岩的热演化史和生烃史进行模拟,并结合储层流体包裹体特征分析潍北凹陷已发现油藏的形成时间和期次,阐述了油气成藏期的石油地质意义,为明确该区油气成藏过程和分布规律提供理论支持。

1 地质背景

潍北凹陷是一个以古近纪始新世沉积为主的北断南超的箕状凹陷,面积约为 880km²,包括北部洼陷带、南部斜坡带、灶户鼻状构造带及瓦城断阶带等 4 个个级构造单元^[1-2](图 1)。潍北凹陷发育较厚的孔店组和沙河街组,始新世末期的构造运动使沙河街组遭受剥蚀,缺失沙三段到东营组,南部斜坡带的

收稿日期:2013-12-07;修回日期:2014-05-07.

基金项目:国家重大专项(编号:2011ZX05006-003);中央高校基本科研业务费专项(编号:14CX05015A)联合资助。

作者简介:刘华(1977-),女,山东博兴人,副教授,主要从事油气藏形成与分布研究与教学。E-mail:liuhua_rjl@163.com.

孔店组部分也遭受剥蚀^[4,6]。目前已发现油气多分布于东部的灶户鼻状构造带的孔店组中;相态上,南部斜坡带和近南部的灶户鼻状带上多富集天然气,中部瓦城断阶带的东部和灶户鼻状带大部分地区聚集油藏,而北部洼陷带主要为深层致密气藏^[10]。

2 烃源岩生烃史模拟

潍北凹陷的烃源岩主要分布在孔二段上、中、下3个亚段,发育暗色泥岩、油页岩、灰质泥岩和薄煤层^[1,11-12],其中油页岩和薄煤层含量较少,主要以暗色泥岩和灰质泥岩为主。研究区烃源岩有机碳含量较高,特别是灰质泥岩中的有机碳含量平均值都在4%以上。灰质泥岩的有机质类型以Ⅲ型、Ⅰ型为

主,其中分布在北部洼陷带的灰质泥岩以Ⅰ型为主,分布在东部灶户断鼻地区的则主要为Ⅲ型;暗色泥岩以Ⅲ型为主,主要分布在洼陷的边部,整体来看,灰质泥岩生烃对研究区的贡献较大。

本文研究采用 EASY%*R*₀ 法^[13-15],利用 Basinmod 盆地模拟软件对研究区 26 口单井(图 1)进行热演化史模拟。模拟过程中以前人^[16-17]关于地温的研究成果作为参考,以有较系统分析 *R*₀ 数据的井为主,为 *R*₀ 数据少的井提供对比,采用的热演化指标是:0.5% < *R*₀ < 0.7% 为生物化学生气阶段,0.7% < *R*₀ < 1.0% 为生成熟油阶段,1.0% < *R*₀ < 1.3% 为生成熟油和伴生气阶段,1.3% < *R*₀ < 2.0% 为生凝析气阶段,*R*₀ > 2.0% 为生干气阶段。

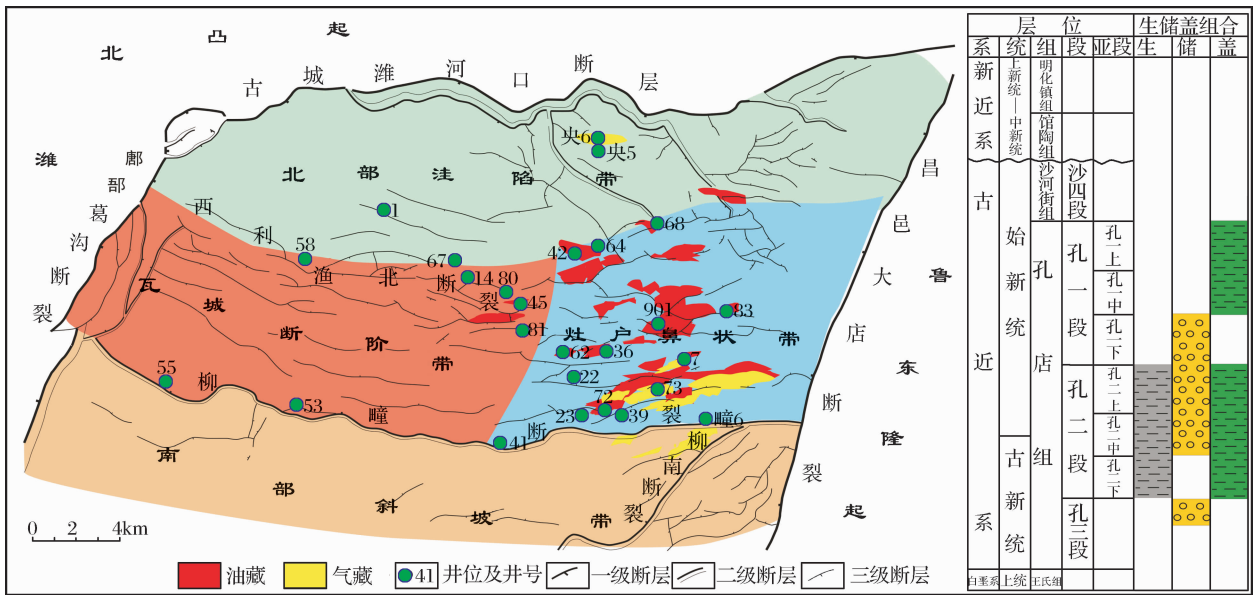


图 1 潍北凹陷构造单元划分

Fig. 1 Structural units distribution of Weibei Depression

2.1 北部洼陷带

研究区北部洼陷带的井相对较少,其中昌 1 井、央 5 井接近潍北凹陷洼陷带的沉降中心,基本可以代表该区烃源岩的生烃特征。昌 1 井生烃史模拟表明,孔二下亚段烃源岩的生烃门限在 2 400m 左右,孔二下亚段底界烃源岩在 51Ma 进入生物化学生气阶段,在 48.5Ma 进入生成熟油阶段;孔二中亚段底界烃源岩在 49Ma 进入生物化学生气阶段,在 48Ma 进入生成熟油阶段;而孔二上亚段烃源岩则相对较晚,在 47Ma 烃源岩底界进入生成熟油阶段(图 2)。由于 3 套烃源岩埋深的差异,孔二中亚段和孔二下亚段底界烃源岩分别于 44Ma 和 47Ma 左右进入到生成熟油和伴生气阶段,孔二下亚段底界烃源岩于

42Ma 达到生凝析气阶段。东营末期,由于构造抬升剥蚀,生烃作用停滞;第四系沉积后,烃源岩埋深超过了东营末期停止生烃的深度,刚刚进入二次生烃状态。

位于洼陷带东部的央 5 井沉降速率较大,生烃比昌 1 井早,孔二段 3 套烃源岩分别在距今 51Ma、50Ma 和 49Ma 时进入生物化学生气阶段,在距今 50Ma、48.5Ma 和 47Ma 时进入生成熟油阶段,孔二中亚段和孔二下亚段底界烃源岩分别于 48Ma 和 44Ma 左右进入到生成熟油和伴生气阶段,孔二下亚段底界烃源岩于 44.5Ma 达到生凝析气阶段。由于东营期构造抬升,后期生烃作用停止(图 2)。

根据上述 2 口井所在位置与北部洼陷带的对应

关系,可以推测分布于北部洼陷带沉降中心烃源岩的生烃时间会更早,埋深较大的烃源岩应该在东营运动前期进入生干气阶段。

2.2 中部瓦城断阶带和灶户鼻状带

模拟实验表明,中部构造带的烃源岩生烃时间比洼陷带略显滞后。例如,位于灶户鼻状带的昌64井,孔二下亚段烃源岩底界在2200m进入生物化学生气阶段,3套烃源岩分别在距今51Ma、49Ma和48Ma时进入生物化学生气阶段,在距今48Ma、47Ma和45Ma时进入生成成熟油阶段;孔二中亚段、

孔二下亚段底界烃源岩分别于44Ma和37Ma左右进入到生伴生气阶段。

位于瓦城断阶带相似构造位置的昌58井,孔二下亚段烃源岩底界在2080m进入生物化学生气阶段,3套烃源岩分别在距今51Ma、50Ma和48Ma时进入生物化学生气阶段,在距今49Ma、45.5Ma和10Ma时进入生成成熟油阶段;孔二下亚段底界烃源岩于12.8Ma进入到生伴生气阶段(图3)。由于该井区后期沉降量大于东营期构造运动的剥蚀量,在明化镇末期进入二次生烃,以生伴生气为主。

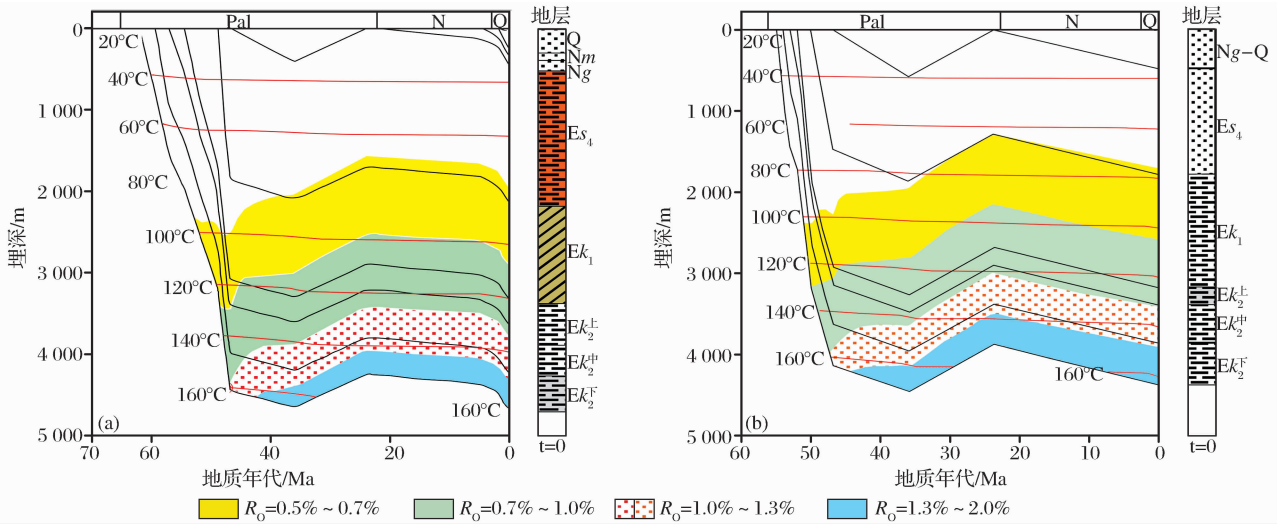


图2 淮北凹陷昌1井(a)、央5井(b)埋藏史与生烃史

Fig. 2 Burial history and hydrocarbon generation history of well Chang 1 (a) and well Yang 5 (b), Weibei Depression

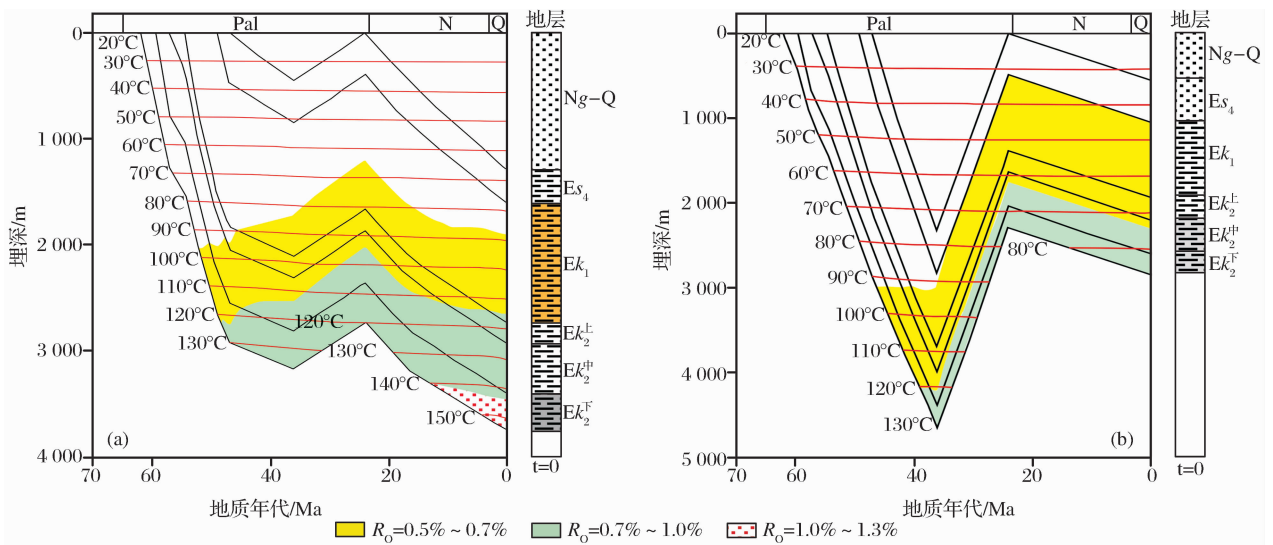


图3 淮北凹陷昌58井(a)、瞳6井(b)埋藏史与生烃史

Fig. 3 Burial history and hydrocarbon generation history of well Chang 58 (a) and well Tuan 6 (b), Weibei Depression

2.3 南部斜坡带

淮北凹陷的烃源岩在南部斜坡带埋深最浅,生

烃能力较低。以位于南部斜坡带北部的瞳6井为例,根据埋藏史和生烃史分析,3套烃源岩分别在距

今 47Ma、45Ma 和 42Ma 时进入生物化学生气阶段,在距今 39Ma 和 38Ma 时孔二中亚段、孔二下亚段底界烃源岩进入生成熟油阶段;受东营期构造运动的影响,在距今 33Ma 时生烃作用停滞。南部斜坡带的整体埋藏较浅,生烃时间短,且以生成生物气为主,这可能与该区分布的天然气藏有着密切的联系。

3 烃源岩生烃状态时空分布特征

根据单井生烃史模拟可知,沙河街期构造运动剥蚀之前,生烃范围几乎遍及全区;而受后期地层沉积补偿量的影响,二次生烃范围有限。在构造运动结束后地层沉降量与剥蚀量^[4,6]的统计基础上,绘制了东营期构造运动后地层沉积厚度与剥蚀厚度差值等值线图(图 4),正值表明后期沉积厚度大于剥蚀厚度,为过补偿沉积区;负值表明后期沉积厚度小

于剥蚀厚度,为欠补偿沉积区。分析表明,潍北凹陷大部分地区为欠补偿沉积区,仅在凹陷的西北部存在过补偿沉积,过补偿量向西北角逐渐增加,最高可达 200 余米,存在二次生烃过程。

3.1 孔二下亚段烃源岩

结合单井热演化史分析表明,孔二下亚段底界烃源岩最早于孔店末期开始进入生物化学生气阶段,沙四中亚段后期生成熟油,在东营期构造运动前(距今 36M)生烃范围达到最大,生烃中心主要围绕北部深洼带,在深洼带孔二下亚段烃源岩进入到生凝析气阶段,断阶带达到了生成熟油阶段,整个凹陷在东营期构造运动前达到满盆生油,从北向南成熟度依次降低,但是受构造背景和沉积作用的影响,在南部昌 70 井区出现一个生烃次洼,烃源岩成熟度略高于周围(图 5)。

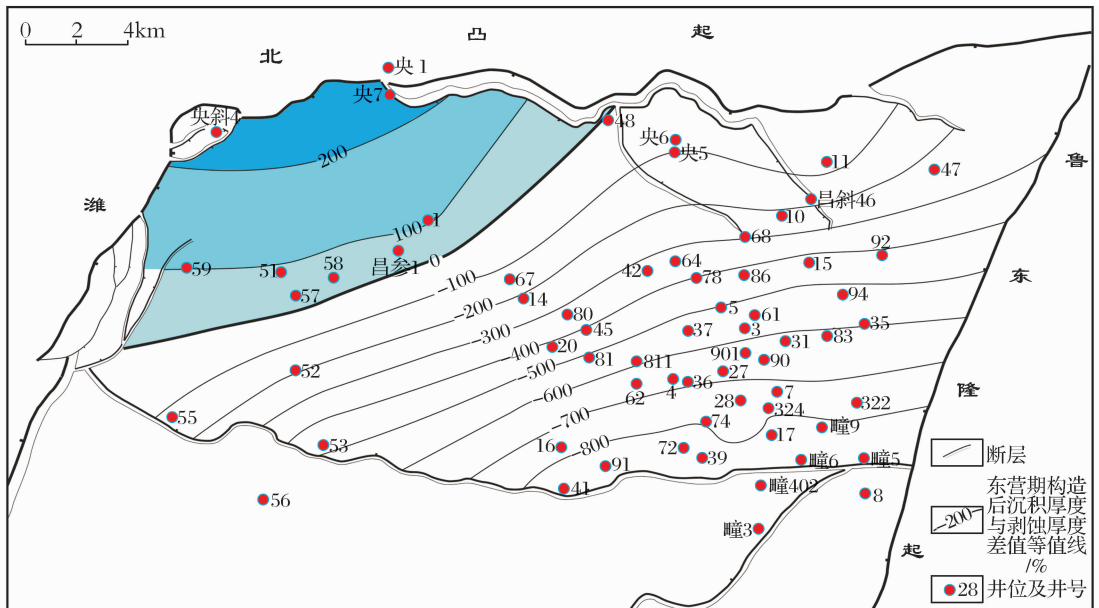


图 4 潍北凹陷东营构造后期沉积厚度与剥蚀厚度差值等值线

Fig. 4 Contour map of the difference value between sedimentary thickness after Dongying Tectonic Movement and erosion thickness, Weibei Depression

受后期地层沉积量与剥蚀量的对应关系,潍北凹陷大部分地区为欠补偿沉积不具有二次生烃能力;仅在研究区西北部存在过补偿的地区具有二次生烃能力,烃源岩成熟度有所增高。根据孔二下亚段烃源岩二次生烃范围和成熟度的分析,烃源岩底界几乎都进入了生成熟油阶段,且生凝析气的范围最广,沉降中心 R_0 值达到 1.8% 以上,生气能力大大增强(图 6),该烃源岩的二次生烃区成为伴生气和凝析气的主要产区。

3.2 孔二中亚段烃源岩

孔二中亚段烃源岩生烃时空范围与孔二下亚段

相似,其底界烃源岩最早于孔店末期开始进入生物化学生气阶段,沙四段沉积后期生成熟油,在东营期构造运动前生烃范围达到最大,生烃中心主要围绕深洼带,在深洼带孔二中亚段底界烃源岩 R_0 值达到 1.2% 以上,进入生成熟油阶段,断阶带烃源岩也大部分进入生成熟油阶段,仅在凹陷西南部进入生物化学生气阶段(图 7)。

孔二中亚段烃源岩在研究区西北部过补偿地区存在二次生烃,烃源岩成熟度有所提高,以生成熟油和伴生气为主,在西北角的洼陷中心区已进入生凝析气阶段(图 8)。

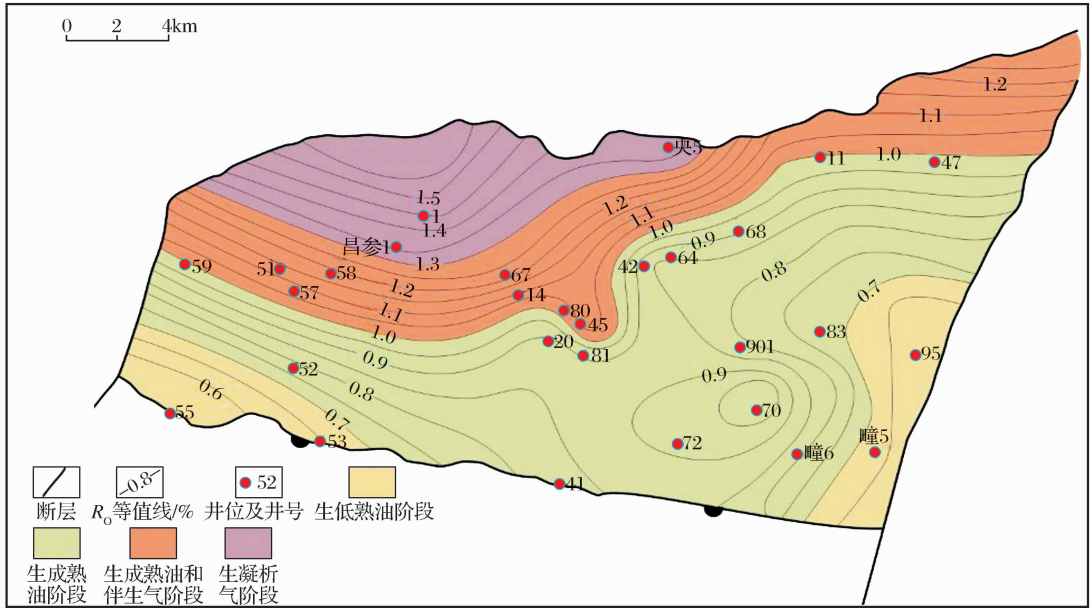


图 5 淮北凹陷孔二下亚段烃源岩底界距今 36Ma 生烃范围

Fig. 5 Range of hydrocarbon generation of the bottom of the lower Ek₂, Weibei Depression, 36Ma before present

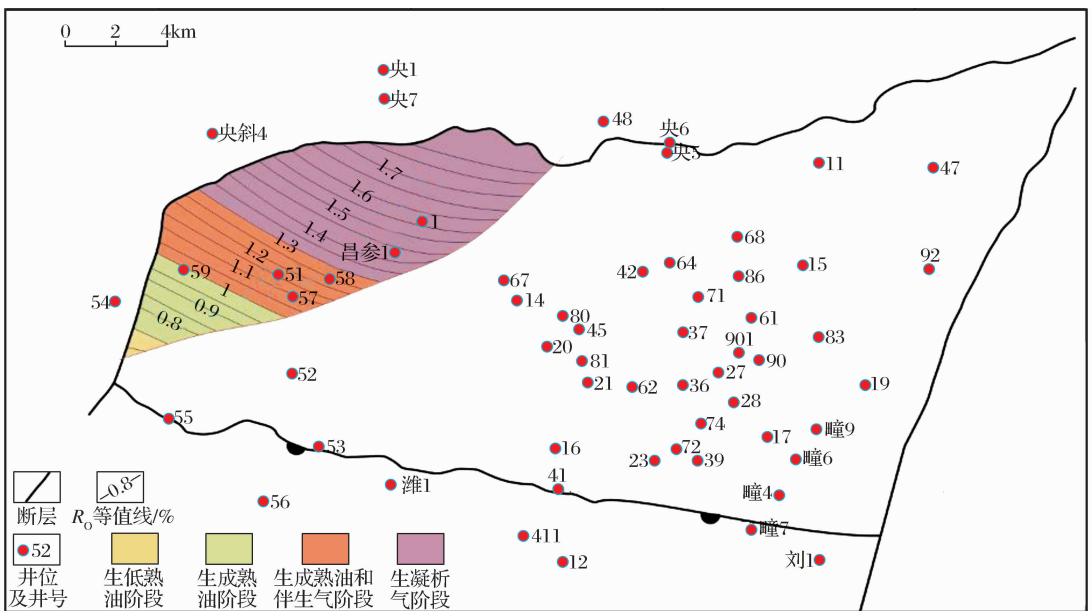


图 6 淮北凹陷孔二下亚段烃源岩底界现今生烃范围

Fig. 6 Range of hydrocarbon generation of the bottom of the lower Ek₂, Weibei Depression, present

3.3 孔二上亚段烃源岩

孔二上亚段烃源岩继承了孔二中、下亚段烃源岩的生烃特征,其底界最早于沙四初期开始进入生物化学生气阶段,沙四后期生成成熟油,在东营期构造运动前生烃范围达到最大。东营期构造运动前,在深洼带孔二上亚段烃源岩进入到生成成熟油阶段, R_0 值达到 0.9% 以上,断阶带部分生成成熟油还有部分烃源岩进入生物化学生气阶段(图 9)。孔二上亚段烃源岩在过补偿地区也存在二次生烃现象,以生成

熟油为主。

根据淮北凹陷烃源岩生烃史的分析,表明该区烃源岩生烃时间较早,且大规模生烃时间位于东营期构造运动前,生烃量在东营期构造运动前达到最高峰,生油量约为 $1.5 \times 10^8 \text{t}$,生气量超过 $400 \times 10^8 \text{m}^3$;孔二上、中亚段以生油为主,孔二下亚段以生气为主。烃源岩的二次生烃范围有限,仅在西北部的过补偿地区存在二次生烃过程,生烃范围明显减小,生烃时间较短,从明化镇末期开始至今。因

此,第一次生烃是研究区主要的生烃形成时期。

4 油气藏形成时期及其石油地质意义

传统的成藏期主要是根据圈闭形成史、烃源岩生烃史及饱和压力法进行分析,目前分析油气成藏期方

法主要有流体包裹体^[18-19]和同位素测年、油气水界面追溯法和储层沥青法^[20-21]。受研究区地质资料的限制,本文研究主要根据构造背景,以烃源岩生烃史分析为基础,利用储层流体包裹体特征和均一温度来分析淮北凹陷已发现油藏的形成时间和期次。

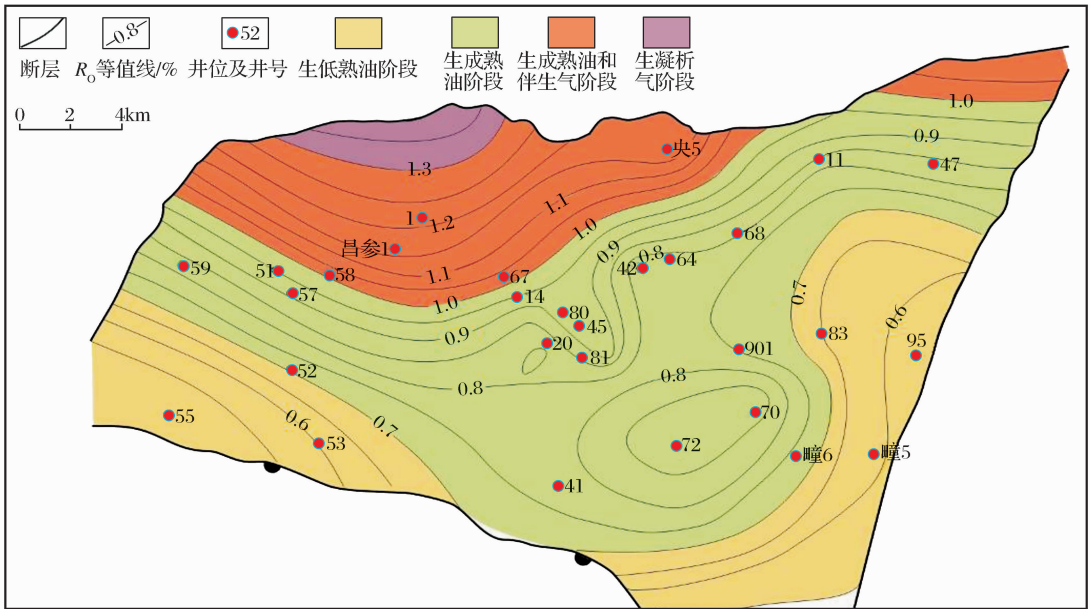


图 7 淮北凹陷孔二中亚段烃源岩底界距今 36Ma 生烃范围

Fig. 7 Range of hydrocarbon generation of the bottom of the medium Ek₂, Weibei Depression, 36Ma before present

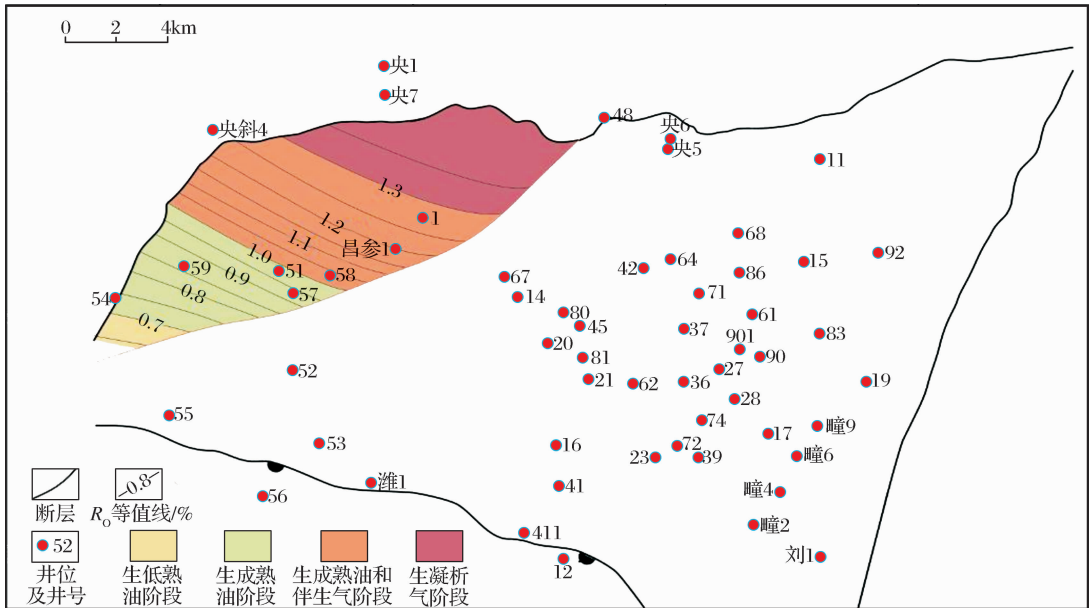


图 8 淮北凹陷孔二中亚段烃源岩底界现今生烃范围

Fig. 8 Range of hydrocarbon generation of the bottom of the medium Ek₂, Weibei Depression, present

4.1 流体包裹体特征

淮北凹陷储层烃类包裹体发育,主要发育气体包裹体、气液两相烃包裹体及少量的水气油三相包

裹体和液相烃包裹体。其宿主矿物主要为石英,包裹体镜下多以串珠状、带状分布在石英颗粒愈合缝、裂隙缝及颗粒内缝隙中(图 10),烃包裹体大小为 4

~10 μ m, 气液比较大, 一般为 2%~5%, 表明大量烃类是液态烃; 个别气液比高达 10%, 表明气体含量有所增加, 成熟度较高。根据岩相学观察, 烃包裹体在透射光下为浅褐色和无色; 在蓝色荧光下显示

黄绿色和蓝白色荧光, 根据颜色显示可将烃包裹体分为 2 期: 第一期包裹体发黄绿色荧光, 透射光下为浅褐色; 第二期包裹体发蓝白色荧光, 透射光下为无色, 成熟度比较高(图 10)。

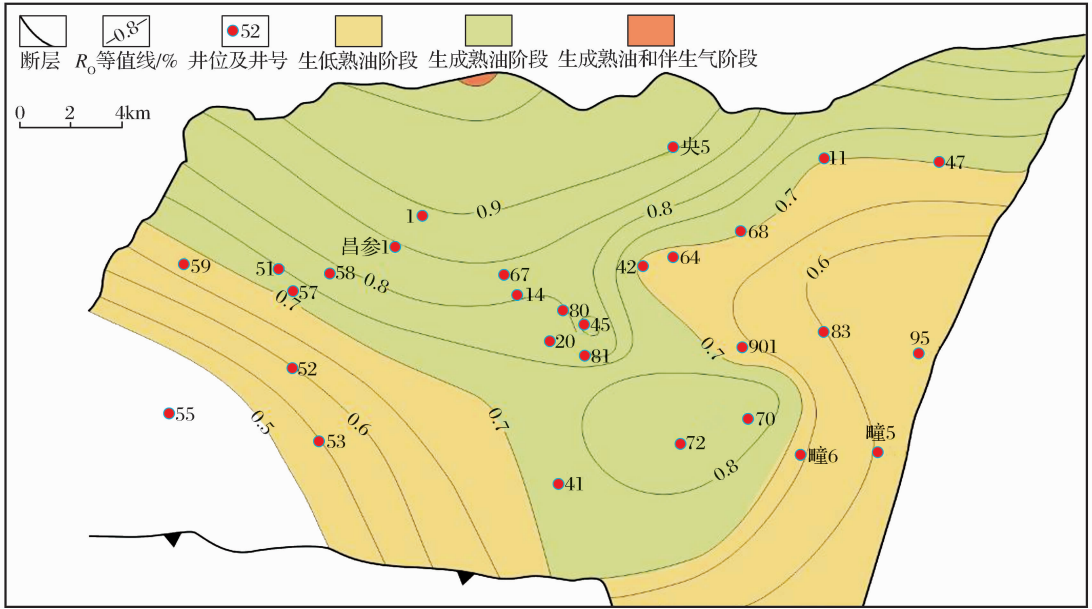


图 9 淮北凹陷孔二上亚段烃源岩底界距今 36Ma 生烃范围

Fig. 9 Range of hydrocarbon generation of the bottom of upper Ek₂, Weibei Depression, 36Ma before present

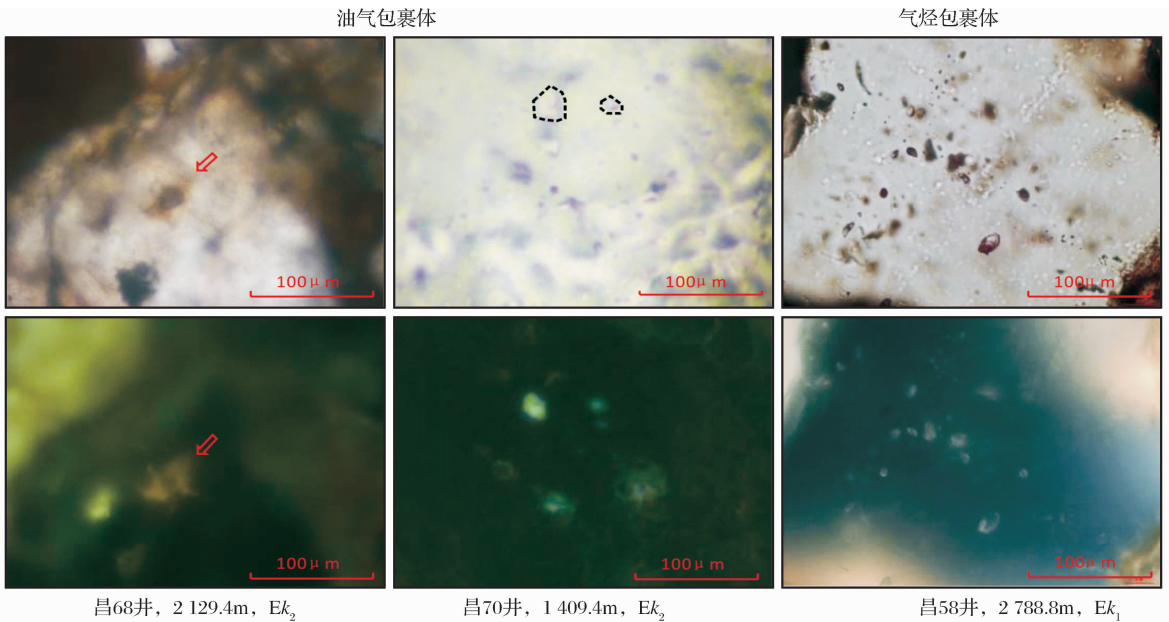


图 10 淮北凹陷孔店组储层含烃包裹体荧光照片

Fig. 10 Fluorescent photographs of hydrocarbon inclusion from Ek reservoir rock, Weibei Depression

4.2 流体包裹体均一温度特征与成藏期

从测温结果看, 研究区油气包裹体的气液比和均一温度变化范围较大, 表明存在多期不同相态的油气充注; 据此, 结合所测的油气被捕获时的均一温

度对其成藏时期进行了恢复。根据流体包裹体捕获深度计算公式, 结合昌 58 等井的埋藏史和生烃史分析, 可得出大部分油气的成藏时间为沙四中亚段沉积时期, 少量地区存在 2 期成藏(表 1)。如昌 58 井

位于二次生烃区,均一温度存在明显的 2 个区间,分别为 90~105℃和 110~120℃(图 11),结合生烃史图(图 3)可以判断存在 2 期油气充注:沙河街组沉积初期(距今约 48Ma)至东营期构造运动期;馆陶组沉积中后期(距今约 13Ma)至今。由于潍北凹陷大部分为欠补偿区,油气充注期次仅为一期连续充

注,即沙河街组沉积中期(表 1)。

结合流体包裹体分析数据和生烃史分析,潍北凹陷油气成藏期次为 2 期:沙四段沉积中期至沙河街期构造运动开始是该区油气的第一期充注,对该区油气成藏的贡献最大;第二次油气充注发生在馆陶中后期至今,仅在二次生烃区及其附近存在。

表 1 潍北凹陷部分储层油气包裹体特征与成藏时间

Table 1 Characteristic of hydrocarbon inclusion from reservoir rock and the forming time of petroleum reservoir

井号	深度/m	层位	均一温度/℃	成藏时间/Ma	成藏时埋深/m	成藏期
昌 45	1 743.53	Ek ₁	106.0	45	1 920	沙四中
昌 58	2 789.62	Ek ₂ ^上	110	46	2 500	沙四中
昌 58	2 789.62	Ek ₂ ^下	120	10	2 700	馆陶末
昌 83	1 798.6	Ek ₂ ^中	114	40	2 150	沙四末
昌 64	2 167.2	Ek ₁ ^下	88	42	2 100	沙四末
昌 68	2 129.4	Ek ₁ ^下	84.1	45	1 810	沙四中
昌 68	2 580.8	Ek ₂ ^中	101	44	2 450	沙四中

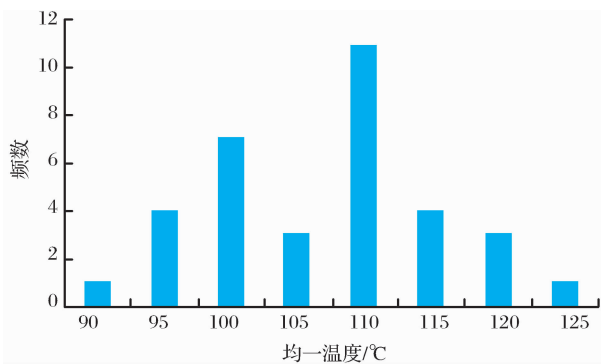


图 11 潍北凹陷昌 58 井流体包裹体均一温度直方图

Fig. 11 Histogram of inclusion homogenization temperature of well Chang 58, Weibei Depression

4.3 石油地质意义

潍北凹陷孔二段 3 套烃源岩的沉降中心具有从西北向东南转移的特征,孔二中、上亚段作为主要的生烃层系,有机质演化程度高,具有满盆生油的特色,受控于北西向—南东向的沉降中心,目前已发现的油气藏多分布于灶户鼻状构造带,该区油气藏的形成时间为沙四末期至东营早期,成藏时间早于构造运动;结合构造强度来看,油气分布区在成藏期后的剥蚀量均大于 400m,构造破坏力较强,该区油气在早期富集而保留至今的原因不清。据此,笔者从以下几个方面进行了证实。

(1) 潍北凹陷灶户鼻状构造带已发现的孔二段原油密度大部分小于 0.85g/cm³,原油黏度大部分小于 30mPa·s,具有低密度、低黏度的特征;而地层水以氯化钙水型占绝对优势,表明该区是与地表大

气水隔绝的封闭体系。

(2) 研究区的油气大多富集在孔二段和孔一下亚段,孔一中、上亚段是研究区重要的区域盖层。据录井、测井资料统计,灶户鼻状带孔一上亚段泥岩厚度均大于 100m,泥岩含量可达 70%以上;而孔一中亚段顶部发育有较厚的膏岩层,膏盐对于油气的运聚起到了很好的围限作用,加上孔一上亚段的厚层泥岩,可有效保护油气藏。

(3) 为了明确该区剥蚀作用与封盖条件的轻重关系,恢复了潍北凹陷油气藏在最大剥蚀时期的埋深情况,即油藏顶面距剥蚀面的深度。分析表明,灶户鼻状带的油气藏最大剥蚀时期埋深均在 1 000m 以深;此外,研究区的断层纵向上均未断到剥蚀界面,很多断层均消失于孔一中上亚段的膏盐层内(图 12)。较大的埋深加之覆盖泥岩层和膏岩层的遮挡,在构造运动时仅造成了油气的运移调整,未造成油气的大量散失,让油气在灶户鼻状构造带得以富集,保存至今。

综合以上均证实灶户鼻状带油气藏的保存条件优于剥蚀破坏条件,保存条件是该区油气藏形成的关键因素;而对于研究区西北部的二次生烃区来说,构造剥蚀的破坏作用较弱,具有二次生烃能力,可以在明化镇晚期形成大量的伴生气和凝析气,是寻找深部天然气藏的有利地区,但是受二次生烃位置、生烃量以及储层成岩作用的影响,油气运移范围有限,主要围绕二次生烃区及其附近分布,有效圈闭的预测是其勘探的关键。

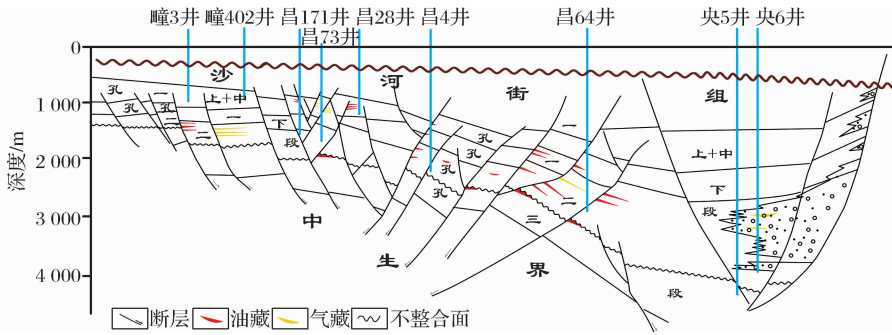


图 12 潍北凹陷东部地区油藏剖面

Fig. 12 Reservoir cross section of the eastern area of Weibei Depression

5 结论

(1) 结合单井生烃史分析, 研究区存在 2 次生烃过程: 沙四中期至沙河街期构造运动开始为第一次生烃, 对研究区贡献大; 第二次生烃发生在馆陶中后期, 仅在西北部晚期沉积量大于剥蚀量的过补偿地区存在, 二次生烃空间有限。

(2) 结合生烃史、包裹体资料分析, 认为研究区存在 2 期成藏: 沙四中期至沙河街期构造运动开始为第一期油气充注, 研究区大部分油气藏形成于该时期, 分布范围较广; 第二次油气充注发生在明化镇中后期至今, 仅在二次生烃区及其附近存在。

(3) 流体性质、盖层条件等分析表明, 潍北凹陷第一期油气藏形成的关键是良好的保存条件; 第二期成藏空间范围受控于二次生烃和储层, 是寻找深部天然气的有利地区。

参考文献 (References):

- [1] Li Xiaoqing, Wang Zecheng, Cheng Youyi, *et al.* Pull Apart Basin Analysis and Its Oil & Gas-bearing Character: Take the Weibei Basin as An Example[M]. Dongying: University of Petroleum Press, 2003. [李晓清, 汪泽成, 程有义, 等. 拉分盆地分析与含油气性——以潍北盆地为例[M]. 东营: 石油大学出版社, 2003.]
- [2] Cheng Youyi, Li Xiaoqing, Wang Zecheng, *et al.* Tectonic evolution and its controlling on petroleum generation in Weibei Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(6): 32-35. [程有义, 李晓清, 汪泽成, 等. 潍北拉分盆地形成演化及其对成油气条件的控制[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 32-35.]
- [3] Ren Ruijun. The Strike-slipping Motion of Tan-Lu Fault and the Growth Characteristics of Weibei Hollow[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. [任瑞军. 郯庐走滑与潍北凹陷发育特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.]
- [4] Li Wentao. Estimate of unconformity time gaps and denudation using Cenozoic astrostratigraphic data from northern Changwei of Shandong Province[J]. Journal of Stratigraphy,

2010, 34(3): 268-282. [李文涛. 应用天文地层学方法对山东昌潍北部新生代不整合时间和剥蚀量的计算及其意义[J]. 地层学杂志, 2010, 34(3): 268-282.]

- [5] Hu Shengbiao, Zhang Rongyan, Luo Yuhui, *et al.* Thermal history and tectonic-thermal evolution of Bohai Basin, east China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1999, 42(6): 748-755. [胡圣标, 张容燕, 罗毓晖, 等. 渤海湾盆地热历史及构造—热演化特征[J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 748-755.]
- [6] Li Shanpeng, Qiu Wansheng, Fang Yanbing, *et al.* Denudation amount recovery of Cenozoic in Changwei Sag[J]. Northwest Oil & Gas Explortion, 2005, 17(1): 35-40. [李善鹏, 邱楠生, 方艳兵, 等. 昌潍拗陷新生代剥蚀量恢复[J]. 西北油气勘探, 2005, 17(1): 35-40.]
- [7] Liu Hua, Jiang Youlu, Chen Tao, *et al.* Discriminating effective petroleum migration pathways in rift basins: Take the Dongying Sag as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(3): 232-235. [刘华, 蒋有录, 陈涛, 等. 陆相断陷盆地油气有效输导体系识别——以东营凹陷中央隆起带为例[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 232-235.]
- [8] Liu Hua, Jiang Youlu, Chen Tao. Effective migration pathways and pool forming model of Xindong area in Dongying Depression[J]. Journal of China University of Petroleum: Earth Science Edition, 2008, 32(4): 13-18. [刘华, 蒋有录, 陈涛. 东营凹陷辛东地区有效输导体系及成藏模式[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 13-18.]
- [9] Qiu Nansheng, Cai Jingong, Li Shanpeng, *et al.* Thermal evolution and hydrocarbon entrapment in the Weibei Sag, Changwei Depression[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3): 413-424. [邱楠生, 蔡进功, 李善鹏, 等. 昌潍拗陷潍北凹陷热历史和油气成藏期次[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 413-424.]
- [10] Zeng Jianhui, Cai Jingong, Gong Xiumei. A study on formation conditions of tight gas reservoir in Weibei Sag[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(6): 622-627. [曾建辉, 蔡进功, 宫秀梅. 潍北凹陷致密气藏的成藏条件研究[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 622-627.]
- [11] Song Yitao, Liao Yongsheng, Wang Zhong. Evaluation of source rocks in Kongdian Formation and analysis of oil sources in Weibei Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4): 487-492. [宋一涛, 廖永胜, 王忠. 潍北凹陷孔店组烃源岩评价及油源分析[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 487-492.]

- [12] Wang Wei, Shen Zhongmin, Chen Yicai, *et al.* The biomarker characteristics of hydrocarbon source rocks in Kongdian Formation of the Weibei Depression in Bohai Wan Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2006, 33(1): 42-46. [汪巍, 沈忠民, 陈义才, 等. 潍北凹陷孔店组烃源岩生物标志物特征及地球化学意义[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2006, 33(1): 42-46.]
- [13] Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74: 1559-1570.
- [14] Wei Zhibin, Zhang Dajiang, Xu Huaixian, *et al.* Application of EASY% R_o model to the studies of thermal history for Mesozoic basins, western China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2001, 28(2): 43-46. [魏志彬, 张大江, 许怀先, 等. EASY% R_o 模型在我国西部中生代盆地热史研究中的应用 [J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(2): 43-46.]
- [15] Lu Shuangfang, Wang Ziwen, Fu Xiaotai, *et al.* Calibration of the reactive kinetic model of hydrocarbon generation of vitrinite and its application in restoring paleoheat history of Huhehu Depression, Hailar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(4): 24-30. [卢双舫, 王子文, 付晓泰, 等. 镜质组成烃动力学模型的标定及其在热史研究中的应用 [J]. *沉积学报*, 1996, 14(4): 24-30.]
- [16] Shi Guangren. *Numerical Methods of Petroliferous Basin Modeling* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004. [石广仁. 油气盆地数值模拟方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.]
- [17] Li Shanpeng, Qiu Nansheng, Zeng Jianhui, *et al.* Analysis on Neozoic paleo-geotemperature of Changwei Depression [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2004, 34(3): 383-387. [李善鹏, 邱楠生, 曾澍辉, 等. 昌潍拗陷新生代古地温分析 [J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2004, 34(3): 383-387.]
- [18] Jiang Youlu, Liu Hua, Li Zongliang. Timing of deep gas accumulation in Bonan and Gubei areas of Jiyang Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(5): 678-682. [蒋有录, 刘华, 李宗亮. 济阳拗陷渤南—孤北地区深层天然气成藏期分析 [J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(5): 678-682.]
- [19] Zhuo Qingong, Song Yan, Ni Pei, *et al.* Experiences on application of fluid inclusion in research of reservoir [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(1): 122-128. [卓勤功, 宋岩, 倪培, 等. 油气藏研究中流体包裹体应用的几点体会 [J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(1): 122-128.]
- [20] Gao Gang, Huang Zhilong. Research advance of time of oil pool formation [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(5): 661-666. [高岗, 黄志龙. 油气成藏期研究进展 [J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(5): 661-666.]
- [21] Wang Feiyu, Jin Zhijun, Lü Xiuxiang, *et al.* Timing of petroleum accumulation: Theory and new methods [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 754-762. [王飞宇, 金之钧, 吕修祥, 等. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法 [J]. *地球科学进展*, 2002, 17(5): 754-762.]

Hydrocarbon Generation History and Accumulation Period of the Kongdian Formation in Weibei Depression

LIU Hua¹, LI Zhen-sheng¹, JIANG You-lu¹, XU Hao-qing², WANG Xin¹

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Shengli Oilfield Company of SINOPEC, Dongying 257001, China)

Abstract: To study the accumulation process and distribution of hydrocarbon, the IES-PetroMod and fluid inclusions were used to analyze the hydrocarbon generation history and the accumulation period of Weibei Depression. There are three sets of source rocks and two hydrocarbon generation centers. The north subdepression is the main source rock in Weibei Depression. The first hydrocarbon generation made the biggest contribution which occurred from the middle sedimentation of E_{s_4} to Dongying tectonics movement, and the source rocks have entered mature hydrocarbon generating stage while the lower source rocks have entered the cracked gas generation period. For the denudation of the Dongying tectonics movement, the hydrocarbon generation almost ceased and secondary hydrocarbon generation only occurred in the northwest part where post-deposition thickness exceeded its eroded thickness. There are two hydrocarbon accumulation periods of the discovered reservoirs; the first hydrocarbon charge was from the middle of the sedimentation of E_{s_4} to the Dongying tectonic movement, restricted by various geologic conditions. Most reservoirs were filled and distributed in Zaohu nasal belt where the sealing condition is better. The second hydrocarbon charge happened in the Guantao stage, and only supplied hydrocarbon for the traps nearby, which is a favorable region for deep natural gas.

Key words: Secondary hydrocarbon generation; Hydrocarbon accumulation period; Fluid inclusions; Hydrocarbon generation history; Weibei Depression