

文章编号: 1000-0550(2012)01-0179-10

# 临清拗陷东部石炭—二叠系二次生烃差异性研究

陈武珍<sup>1</sup> 陈红汉<sup>1,2</sup> 李文涛<sup>3</sup> 丰勇<sup>2</sup> 宫雪<sup>1</sup> 熊万林<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院石油系 武汉 430074; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心 兰州 730000;  
3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015)

**摘要** 受盆地多旋回叠加和反转演化控制,临清拗陷东部石炭—二叠系含煤系地层烃源岩经历了二次生烃过程,并在空间上表现出强烈的差异性。通过对这套烃源岩生烃史模拟结果表明,石炭—二叠系烃源岩于早中三叠世进入生烃门限,随后印支运动造成全区生烃中止,中生代烃源岩再次深埋,发生二次生烃作用。不同井区二次生烃在时间和空间上存在差异性,洼陷带发育三个“二次生烃”阶段,生烃高峰期发生在新生代,凸起带发育两个“二次生烃”阶段,生烃高峰期发生在中生代,隆起区尚未发生二次生烃。二次生烃早期生成的烃类基本遭受破坏,晚期生成的烃类具备成藏条件,是勘探的主要目标。现今洼陷带烃源岩已进入成熟—高成熟阶段,成为晚期煤成气藏的气灶。

**关键词** 煤系烃源岩 二次生烃 多旋回叠合盆地 临清拗陷东部

**第一作者简介** 陈武珍 女 1986年出生 硕士研究生 石油地质 E-mail: didachenwuzhen@126.com

**中图分类号** TE122.1+13 **文献标识码** A

近年来渤海湾盆地前古近系油气勘探在局部地区已取得很好效果,在冀中拗陷苏桥—文安斜坡、黄骅拗陷孔西构造带和乌马营潜山、东濮凹陷文留潜山、济阳拗陷孤北潜山等地区均发现了源于上古生界煤系源岩的油气藏,展现了良好的勘探前景,这使得诸多研究者认为临清拗陷东部石炭—二叠系煤系源岩也应该具有一定的生烃能力<sup>[1-3]</sup>。研究区自1959年钻探华4井以来经过50多年的勘探工作,共发现古近系、新近系石油、CO<sub>2</sub>、煤成气三种油气资源。研究区煤炭资源丰富,石炭—二叠系煤系源岩埋藏深、分布广,是煤成气勘探的有利地区。然而不同学者对石炭—二叠系煤系源岩生烃期次和时限存在异议,从而对盆地资源潜力的评价有差异。李春山等根据盆地模拟结果认为,石炭—二叠系煤系源岩只有两次生气期:第一次发生在晚三叠世以前,但已遭受破坏;第二次发生在古近纪中晚期,是本区重要的生气聚集期<sup>[4]</sup>。胡宗全等认为临清拗陷东部石炭—二叠系煤系源岩有四次生烃:中三叠世以前、侏罗—白垩纪、古近纪和新近纪—第四纪,古近纪的生烃量最大,侏罗—白垩纪次之,新近纪—第四纪最少<sup>[5]</sup>。陈丽认为石炭—二叠系煤系源岩在早—中三叠世进入一次生烃过程,生成的煤成气以散失为主;侏罗—白垩纪进入第二次生烃过程,生成的煤成气以散失为主;新生代以来进入第三次生烃过程,这期生烃以聚集为

主<sup>[6]</sup>。本文通过研究区不同构造带单井生烃史模拟研究上古生界煤系源岩生烃历史,进而对比不同构造带二次生烃的时空差异性,以期指导临清拗陷东部古近系以前的油气勘探。

## 1 区域地质背景

临清拗陷东部位于渤海湾盆地西南收敛端,呈北北东向展布,北到吴桥,南至冠县,西起武城—馆陶凸起,东抵鲁西隆起,包括德州凹陷、莘县凹陷和高唐—堂邑凸起三个次级构造单元(图1)。研究区是渤海湾盆地内至今还没有发现油田的一个中—新生代复合型断陷沉积盆地,面积约5 910 km<sup>2</sup><sup>[7]</sup>。

早古生代—中三叠世末,临清拗陷东部发育统一于华北地台演化过程,区域上沉降、沉积幅度差异不大,地层厚度横向变化稳定<sup>[8]</sup>。晚三叠世华北板块与扬子板块挤压拼接,研究区整体抬升,三叠系遭受剥蚀,局部地区甚至剥蚀了部分二叠系。北高南低的地势造成北部剥蚀厚度大于南部,下一中三叠统仅残留于南部地区。吴智平采用构造横剖面法、声波时差法等手段,计算了古生界顶(含早—中二叠统及部分古生界)的地层剥蚀量,北部普遍大于2 000 m,向南部逐渐变小,同时恢复了研究区早—中二叠世地层的原始沉积厚度<sup>①</sup>。中生代到古近纪,研究区经历了两次不同性质的断陷作用。中生代燕山运动使研究区

①吴智平,李伟,等. 临清拗陷东部断裂发育、组合及演化特征(内部资料). 2007.  
收稿日期: 2010-12-27; 收修改稿日期: 2011-05-30

遭受挤压、强烈上升,在隆升背景下发生断陷作用。古近纪喜山运动使研究区发生强烈的张裂断陷<sup>[9]</sup>。中生代时期研究区整体表现为一大型断陷湖盆,地层沉积整体具北东向展布趋势,发育数个沉积中心,沉积了数千米侏罗—白垩纪地层,最大沉积中心位于莘县凹陷中部。古近纪地幔热柱再次上涌,研究区进入大规模断陷盆地发育阶段,地层沉积具明显的断陷式盆地沉积特征,整体而言,地层厚度南部大于北部,东部大于西部,发育多个沉积、沉降中心,形成现今凹凸相间的构造格局。喜马拉雅晚期,临清拗陷东部所在的渤海湾盆地转为热沉降拗陷。

厚度 100 ~ 300 m,其中暗色泥岩厚度 100 ~ 200 m,煤层厚度 5 ~ 25 m。纵向上煤层主要赋存在太原组,其次为山西组,本溪组为薄煤层或煤线。

地球化学分析表明:研究区煤系源岩有机碳含量较高,煤一般为 48.54% ~ 84.69%,平均 60.09%,暗色泥岩一般为 0.3% ~ 9.64%,平均 3.24%。干酪根类型以Ⅲ型为主,极个别Ⅱ<sub>2</sub>型。镜质体反射率为 0.5% ~ 1.3%,处于低熟—成熟阶段,局部区域受岩浆活动影响出现高值,处于过成熟阶段。纵向上太原组源岩最好,次为山西组和本溪组。显微组分分析揭示石炭—二叠煤系源岩镜质组含量最高,其次为惰质组,壳质组最低,这种显微组分特点也表明石炭—二叠系以生气为主。

通过研究发现,埋深在 2 700 m,镜质体反射率演化曲线有一较明显的“拐点”(图 3),说明本区石炭—二叠系存在“二次生烃”过程,“二次生烃”门限的镜

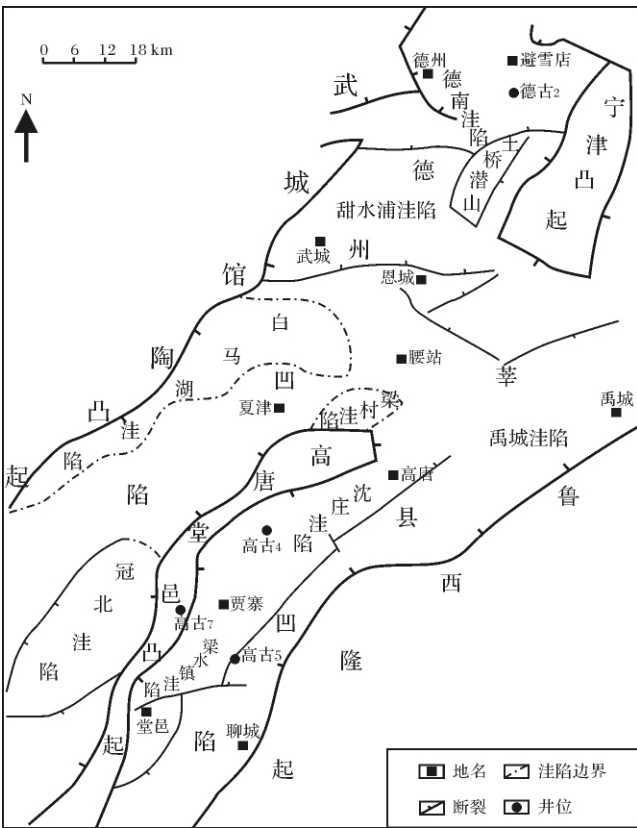


图 1 临清拗陷东部构造单元划分和生烃模拟井位分布  
Fig. 1 The well location of hydrocarbon generating simulation and division of tectonic units in eastern Linqing Depression

## 2 烃源岩特征

石炭—二叠系为一套海陆交互含煤沉积,是临清拗陷东部深层油气的重要来源,地层厚度在区内分布稳定(图 2),由煤层、暗色泥岩(含炭质泥岩)、灰岩及碎屑岩构成<sup>[10]</sup>。前两者是煤成气的主要源岩,主要分布在中石炭统本溪组、上石炭统太原组、下二叠统山西组,区内钻遇石炭—二叠煤系地层较全的井有 7 口,厚度统计结果表明:石炭—二叠煤系地层累计

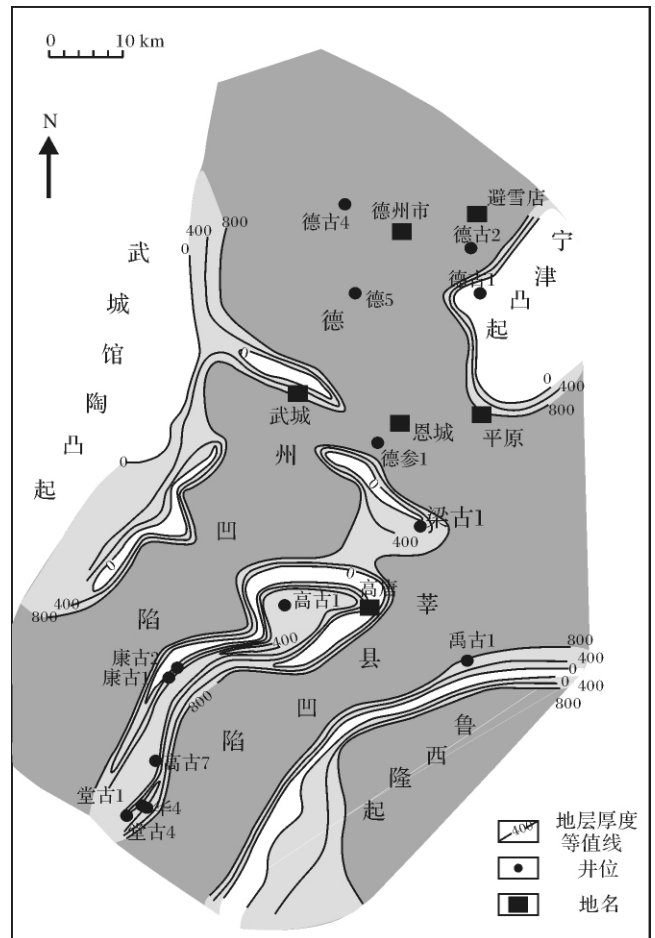


图 2 临清拗陷东部石炭—二叠系残留厚度图  
(据陈丽 2008 修编)

Fig. 2 Remained thickness of Carboniferous-Permian strata in the eastern Linqing Depression

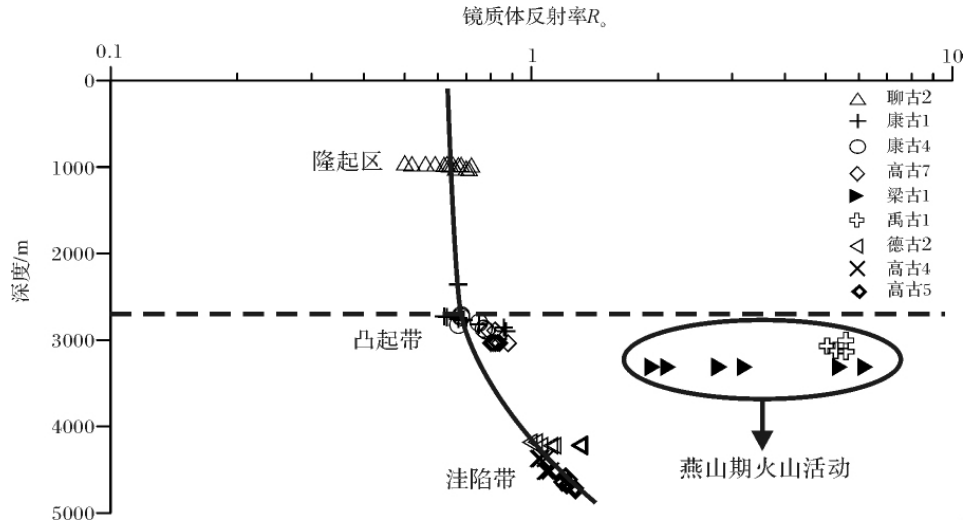


图 3 临清拗陷东部石炭—二叠煤系烃源岩成熟度与深度关系

Fig. 3 The variation of maturity of Carboniferous-Permian coal-bearing source rocks with depth in the eastern Linqing Depression

质体反射率等于 0.6% ,埋深等于 2 700 m<sup>[11]</sup>。

石炭—二叠系在研究区广泛分布,但不同构造单元分布特征和热演化程度明显不同。从现今石炭系太原组底界埋深和热演化程度分布(图 4)<sup>[12]</sup>可以看出:鲁西隆起埋藏最浅,基本在 2 000 m 以下;热演化程度最低,  $R_0$  值在 0.6% 左右。高唐堂邑凸起、梁村潜山和武城二台阶潜山次之,主要介于 2 000 ~ 3 500 m 之间;高唐堂邑凸起和武城二台阶潜山成熟度中等,  $R_0$  值介于 0.6% ~ 1.0% 之间,梁村潜山受火山作用影响,  $R_0$  值超过 3.0%。洼陷区埋深最大,基本超过 3 500 m,其中冠县洼陷和禹城洼陷最大埋深超过 8 000 m;冠县洼陷和禹城洼陷  $R_0$  值基本在 1.3% 以上,深洼处超过 2.0%,南部洼陷带(包括白马湖洼陷、梁水镇洼陷和沈庄洼陷等)和北部洼陷带(包括德南洼陷和甜水浦洼陷)  $R_0$  值介于 1.0% ~ 2.0% 之间,局部超过 2.0%。

### 3 模拟过程主要参数确定

沉积盆地的埋藏史和热历史及其演化直接影响烃源岩的生烃演化过程。本研究在准确恢复埋藏史和热历史的基础上得到烃源岩生烃史模拟结果。

埋藏史模拟中一个关键的参数是地层剥蚀厚度,研究中采用声波时差法恢复单井各时期地层的剥蚀厚度(表 1)。

表 1 单井不同时期剥蚀厚度恢复数据(单位: m)

Table 1 Values of the restoration of eroded thickness of single well in the eastern Linqing Depression

	晚三叠世末期	晚白垩世末期	古近纪末期
德古 2	2100	1100	300
高古 4	1800	1000	300
高古 5	2200	1000	500
高古 7	1500	1000	古近纪未沉积

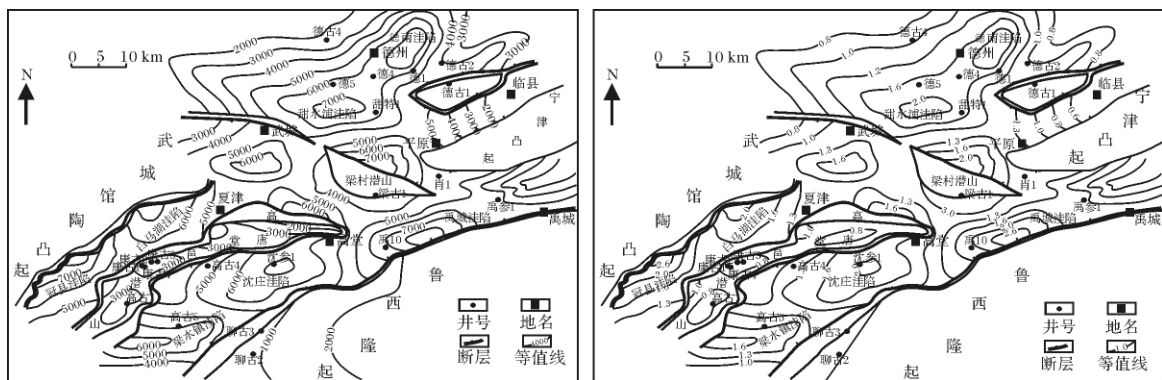


图 4 临清拗陷东部太原组底界埋深及热演化程度图(据王力 2008)

Fig. 4 Map of thermal evolution and bottom burial depth of Taiyuan Formation in the eastern Linqing Depression

研究中采用镜质组反射率 ( $R_o$ ) 这个古温标来恢复热历史,镜质组反射率模拟热历史采用 EASY%  $R_o$  模型(Sweeney and Burnham, 1990),镜质组反射率数据采用胜利油田的数据(表2),热史模拟过程中选用线性热史演化模型并采用古地温梯度法,用古温标  $R_o$  的模拟计算值和实测值之间的吻合程度检验所设热史路径的正确性。

热史模拟过程中,基础地质数据包括岩性参数、现今地表温度、地温梯度、大地热流值和地层分层数据。现今地温数据采用胜利油田的钻井地温数据,岩石热物性数据采用邻区的数据<sup>[13,14]</sup>,压实系数和初始孔隙度等数据依据各井实际数据利用 Sclater and Christie(1980)的方法回归得到,地层分层数据采用胜利油田钻孔实际测量值,各地层底界距今年龄分别

表2 镜质组反射率数据

Table 2 Values of the Cenozoic samples from the eastern Linqing Depression

钻井	深度/m	$R_o$ /%	钻井	深度/m	$R_o$ /%	钻井	深度/m	$R_o$ /%	钻井	深度/m	$R_o$ /%
高古7	2890.40	0.82	高古5	4563.00	1.20	高古4	4369.43	1.08	德古2	4180.64	1.02
	2890.70	0.79		4605.00	1.23		4371.99	1.05		4181.99	0.99
	3033.02	0.83		4642.00	1.18		4372.21	1.04		4221.70	1.05
	3033.52	0.82		4658.00	1.22		4515.14	1.08		4222.20	1.11
	3034.30	0.81		4681.00	1.21		4515.72	1.09		4222.30	1.13
	3035.55	0.80		4711.00	1.27		4516.71	1.11			
	3036.10	0.82		4739.00	1.27						
	3036.63	0.84									
	3037.60	0.88									

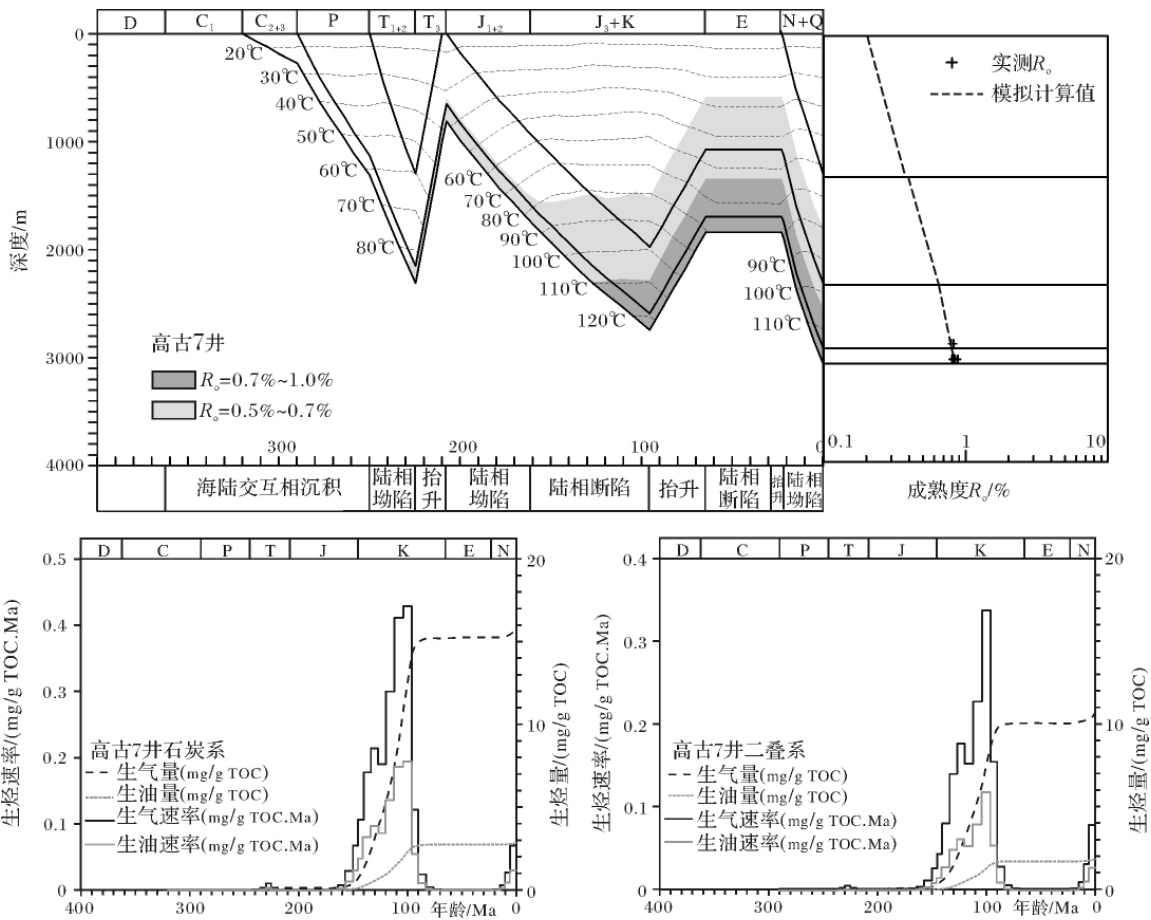


图5 高古7井石炭—二叠系埋藏史、热史和生烃史

Fig. 5 Burial history, geothermal history and hydrocarbon generating history of Carboniferous-Permian of Well Gaogu-7

为: 中晚石炭统( $C_{1+2}$ ): 320 Ma; 二叠系(P): 290 Ma; 三叠系(T): 250 Ma; 侏罗白垩系(J+K): 208 Ma; 古近系(E): 65 Ma; 新近系第四系(N+Q): 23.3 Ma。模拟过程中将研究区地表气温设为 $15^{\circ}\text{C}$ , 并假定地史上地表气温不变。

## 4 煤系烃源岩二次生烃时空差异性

### 4.1 鲁西隆起

位于兰聊断裂上升盘, 石炭—二叠系处于浅埋区, 镜质体反射率为 $0.5\% \sim 0.72\%$ , 代表井有聊古1、聊古2、聊古3等。三叠系沉积末期, 煤系源岩进入生烃门限, 随后构造运动导致生烃停滞。燕山期至今煤系源岩埋深仍小于2 000 m, 尚未达到印支运动改造前的埋深, 保持了三叠纪的热演化程度, 后期的地史演化不足以激发烃源岩的二次生烃作用。表明该区石炭—二叠煤系源岩具有早期微熟—中晚期不生油气的生烃特征, 是二次生烃无效区。

### 4.2 高唐—堂邑潜山

位于堂邑西断裂和堂邑东断裂之间, 据高古7、康古1、康古2、康古3、康古4等钻井资料揭示, 石炭—二叠系现今埋深为2 900~3 100 m, 镜质体反射率为 $0.62\% \sim 0.88\%$ 。通过高古7井单井埋藏史、热史、生烃史恢复可知(图5), 高唐—堂邑潜山煤系源岩经历过三期生烃, 石炭—二叠系累积生烃量 $38.20 \text{ mg/g}$ 。初次生烃开始于三叠纪, 但有机质热演化程度不高, 生烃量很小。燕山期, 广泛的岩浆活动导致古地温明显异常, 地温梯度高达 $4.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}^{[15]}$ , 有机质于白垩纪进入生油窗, 发生二次生烃, 生烃速率明显增大, 该期生烃量较大, 占累积生烃量的90%以上(表3), 但由于上覆白垩系被剥蚀, 古近纪时期又未接受沉积, 本期油气难以保存。喜山运动之后重新接受沉积, 现今石炭—二叠系埋深仅3 100 m, 刚能补偿先期达到的煤阶, 有机质进入二次生烃晚期, 但生烃量有限。上述分析表明该区石炭—二叠煤系源岩具有早期微熟—中期低熟—晚期几乎不生油气的生烃演化史, 不是现今油气藏的源灶。

### 4.3 北部洼陷带

包括德南洼陷和甜水浦洼陷, 地层沉积连续。洼陷部位的石炭—二叠煤系源岩随古近纪沉积盖层厚度的不断增大, 热演化程度不断增加而达到生烃高峰。据德南洼陷德古2井钻井资料揭示, 石炭—二叠系现今埋深达4 400 m, 镜质体反射率为 $0.99\% \sim 1.13\%$ 。通过德古2井单井埋藏史、热史、生烃史恢复

可知(图6), 北部洼陷带经历了四期生烃, 石炭—二叠系累积生烃量 $94.43 \text{ mg/g}$ 。三叠纪初次生烃, 生烃量小。白垩纪末期发生二次生烃, 生烃速率增大, 生烃量占累积生烃量的31%, 但白垩系的剥蚀使烃类保存条件不佳。古近纪以来有机质开始进入生烃高峰期, 发生两次生烃作用, 生烃量分别占累积生烃量的35%和32%(表3), 石炭系于古近纪达最大生烃速率, 二叠系于新近纪—第四纪达最大生烃速率。模拟结果表明该区是煤成气晚期成藏的有效供气中心, 具有早期未熟—中期低熟—晚期成熟的演化特征。

### 4.4 南部洼陷带

包括梁水镇洼陷、沈庄洼陷、白马湖洼陷、冠北洼陷等, 受构造热演化的控制, 各洼陷生烃演化存在差异。据沈庄洼陷高古4井钻井资料揭示, 石炭—二叠系现今埋深达4 600 m, 镜质体反射率为 $1.04\% \sim 1.11\%$ 。通过高古4井单井埋藏史、热史、生烃史恢复可知(图7a), 沈庄洼陷经历了四期生烃, 石炭—二叠系累积生烃量 $93.80 \text{ mg/g}$ (表3)。生烃演化特征与德南洼陷的德古2井相似, 三叠纪生烃量小, 白垩纪二次生烃保存条件不佳, 以古近纪以来的晚期生烃为主, 石炭系和二叠系分别在古近纪和新近纪—第四纪达到最大生烃速率。

位于梁水镇洼陷的高古5井, 石炭—二叠系现今埋深达4 800 m, 镜质体反射率为 $1.18\% \sim 1.27\%$ 。单井埋藏史、热史、生烃史恢复表明(图7b), 梁水镇洼陷同样经历了四期生烃, 石炭—二叠系累积生烃量 $111.02 \text{ mg/g}$ 。晚期生烃贡献率与德古2井、高古4井相当, 但生烃演化过程与德古2井、高古4井存在差异, 表现为该区生烃高峰期主要发生在古近纪, 生烃量占累积生烃量的52%, 石炭系和二叠系均在古近纪达到最大生烃速率。新近纪以来生烃速率低于白垩纪生烃速率, 生烃量仅占累积生烃量的12%(表3)。

## 5 生烃差异性成因解释

晚三叠世以前, 研究区缓慢沉降—沉积, 全区石炭—二叠煤系源岩均衡演化, 早中三叠世在自身深埋作用和正常古地温影响下有机质进入生烃门限, 发生第一次生烃作用。晚三叠世之后盆地三个旋回的构造叠合使各构造带发生差异沉降(图5、6、7单井埋藏史), 成为研究区煤系源岩二次生烃差异性的主控因素。

表3 不同时期单井石炭—二叠系生烃贡献统计

Table 3 Statistics of hydrocarbon contribution of single well in the different periods

井号	层位	第一期( $T_{1+2}$ )	第二期( $J_3 + K$ )	第三期(E)	第四期(N+Q)	总生烃量 /(mg/g)
		生烃量/(mg/g)	生烃量/(mg/g)	生烃量/(mg/g)	生烃量/(mg/g)	
		$R_o$ /%	$R_o$ /%	$R_o$ /%	$R_o$ /%	
		生烃贡献 /%	生烃贡献 /%	生烃贡献 /%	生烃贡献 /%	
德古2	C—P	0.85	29.54	33.44	30.60	94.43
		0.43% ~ 0.62%	0.62% ~ 0.83%	0.83% ~ 0.97%	0.97% ~ 1.14%	
		0.90%	31.28%	35.41%	32.41%	
高古4	C—P	0.52	30.72	35.75	26.81	93.80
		0.46% ~ 0.54%	0.54% ~ 0.83%	0.83% ~ 0.99%	0.99% ~ 1.14%	
		0.55%	32.75%	38.11%	28.58%	
高古5	C—P	1.32	38.24	58.08	13.38	111.02
		0.42% ~ 0.62%	0.62% ~ 0.85%	0.85% ~ 1.13%	1.13% ~ 1.23%	
		1.19%	34.44%	52.31%	12.05%	
高古7	C—P	0.25	36.26	0	1.69	38.20
		0.42% ~ 0.53%	0.53% ~ 0.84%	0.84%	0.84% ~ 0.85%	
		0.65%	94.92%	0	4.42%	

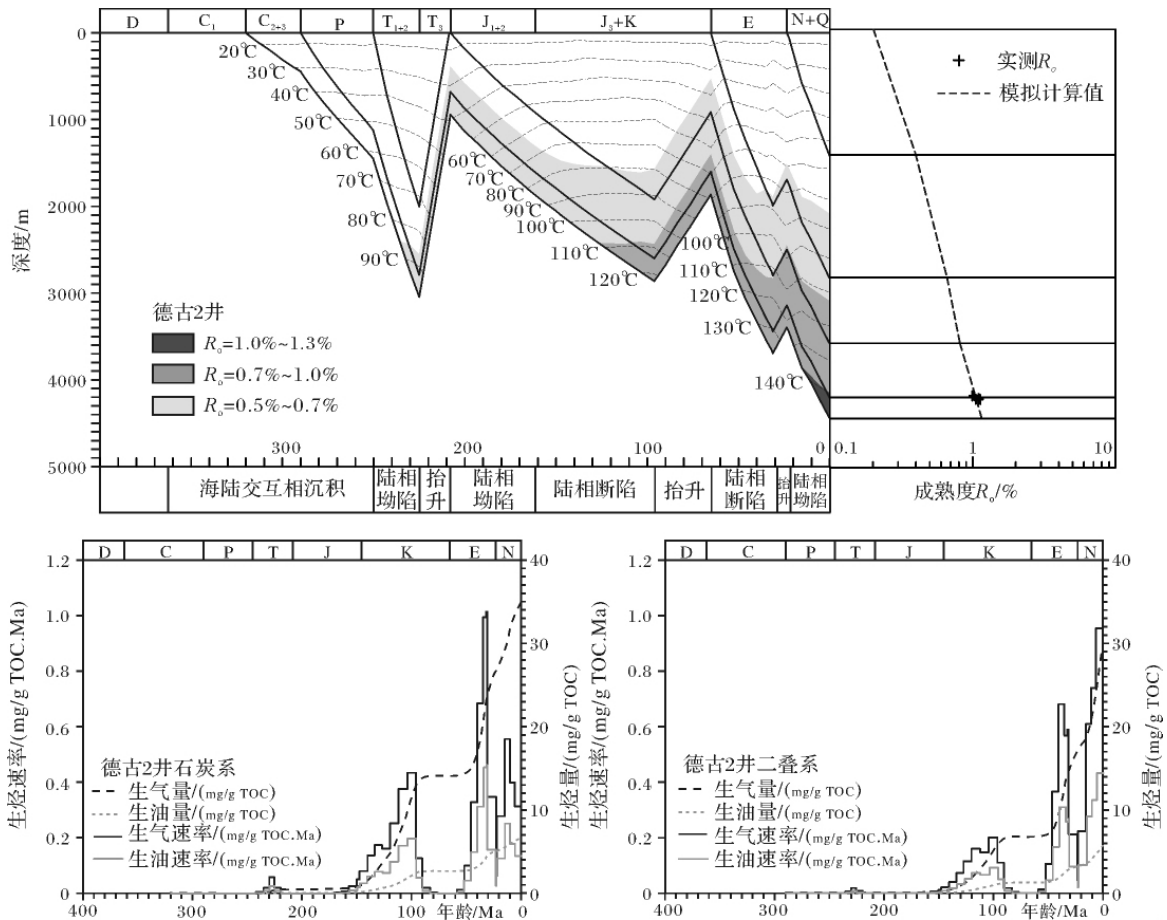


图6 德古2井石炭—二叠系埋藏史、热史和生烃史

Fig.6 Burial history , geothermal history and hydrocarbon generating history of Carboniferous-Permian of Well Degu-2

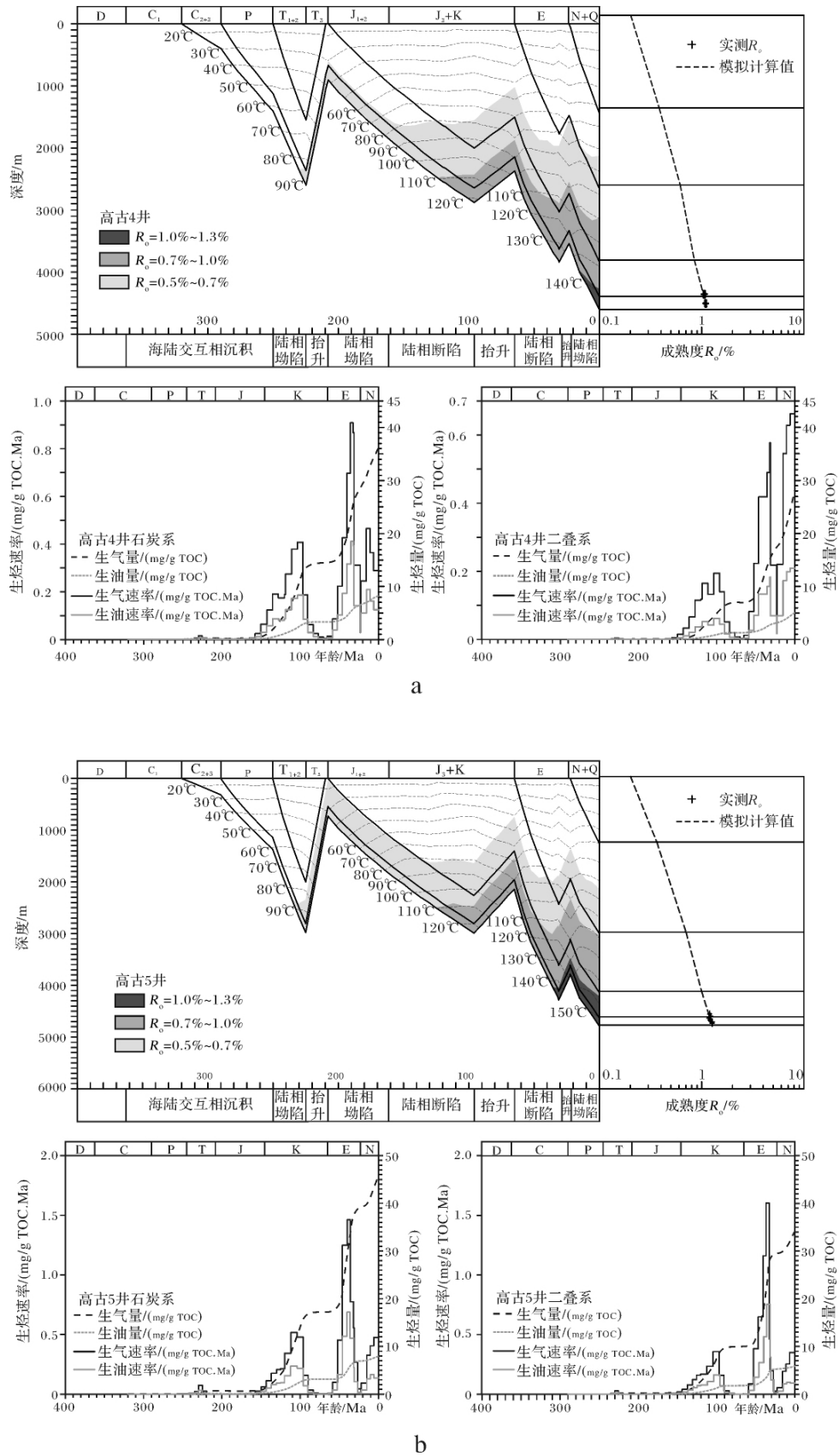


图 7 南部洼陷带石炭—二叠系埋藏史、热史和生烃史

Fig. 7 Burial, geothermal and hydrocarbon generating history of Carboniferous-Permian in the southern sub-sag

鲁西隆起形成于印支运动末期,中生代和古近纪遭受沉积间断,新近纪开始接受沉积,是中生代隆起、新生代隆起的叠合区<sup>[12]</sup>。后期的地层沉积不能补偿早中三叠世达到的煤阶,因此只发生一次生烃作用。研究区有机质成熟度最低的烃源岩见于此处的聊古2井(图3),成熟度基本可以代表一次生烃的中止状态。

高唐一堂邑潜山形成于喜山早期,古近纪遭受沉积间断,只局部沉积很薄的古近系,是中生代拗陷、新生代隆起的叠合区<sup>[12]</sup>。晚白垩世持续隆升终止了二次生烃作用,同时古近系的普遍缺失使得煤系有机质演化基本停滞,成熟度可以代表二次生烃晚期的起始状态。

研究区洼陷带均属于中生代拗陷、新生代拗陷的叠合区<sup>[12]</sup>。由于处于构造转换带上,研究区沉降中心没有随断陷作用的增强而逐步统一。沉降中心的迁移造成各洼陷地层沉积厚度差异,从而影响烃源岩的生烃演化。德南洼陷为西断东超的洼陷,沙四段沉积末构造反转使其复杂化,内部沉积中心迁移,古近系相对较薄。沈庄洼陷为北东向构造带与近东西向构造带的过渡带上,新生代早期为沉降中心,沙一段—东营组沉积时期反转为构造斜坡,新生界相对较薄。梁水镇洼陷为双断地堑型洼陷,在中生代至沙四段沉积时期,西侧的高唐一堂邑东断层活动较强,沉积物西厚东薄;到新生代断陷后期,东侧聊城断裂活动增强,沉积物则东厚西薄。由于洼陷较窄,即使沉降中心发生迁移但总体沉降幅度还是比较大,沉积了较厚的古近系<sup>①</sup>。因此较厚的上覆地层使位于梁水镇洼陷的高古5井有机质演化程度高于德南洼陷的德古2井和沈庄洼陷的高古4井,在古近纪未全部进入大量生烃阶段,因而古近纪生烃量大,新近纪生烃量明显降低。

二次生烃早晚、主要生排烃时期与断层活动时期的匹配、后期构造运动强弱及侧向封堵条件好坏是煤系源岩油气成藏的关键条件。从前面分析可知研究区洼陷带二次生烃较晚,在古近纪新近纪大量生烃。而前人<sup>①</sup>对研究区断层发育演化的研究表明,古近纪是断裂活动最强的阶段,特别是 $E_{s3} + E_{s2}$ 阶段断层活动速率最大,这时期断层对油气可以起到有效输导作用,到新近纪断裂停止活动或者活动微弱,可能终止或降低了油气输导作用。本研究通过流体包裹体系统分析技术确定油气成藏时期发现,上古生界煤系源岩二次生排烃期次主要在新近纪末期至第四纪,因此

凹陷深处生成的油气无法运移到潜山高点聚集成藏,故无法形成大规模的油气藏。应寻找那些断层消亡时间晚于煤系源岩二次生排烃高峰期的圈闭,从而断层可以作为油气运移聚集的通道,有利于多烃源灶供烃,形成大规模的油气聚集。

## 6 结论

(1) 晚三叠世以前石炭—二叠煤系源岩演化在区域上基本一致,有机质于中三叠世末进入生烃门限,随后印支运动造成全区生烃停滞,后期构造热演化使研究区普遍发生二次生烃作用。洼陷带煤系有机质已进入成熟—高成熟阶段,成为煤成气晚期成藏的有效供气中心。

(2) 二次生烃在时间和空间上存在分段性和主次性,不同时期生烃贡献大小不一。洼陷带经历白垩纪、古近纪和新近纪—第四纪三个“二次生烃”阶段,古近系较薄的洼陷三期生烃贡献相当,在30%左右,古近系较厚的洼陷古近纪时期生烃贡献率大于50%,白垩纪时期次之,新近纪最少;凸起带经历白垩纪、新近纪—第四纪两次“二次生烃”阶段,白垩纪时期生烃贡献率大于90%;隆起区尚未发生二次生烃作用。白垩纪生成的烃类遭受破坏,古近纪以来为主力生烃期,烃类以成藏为主,是现今油气勘探的主要目标。

(3) 盆地三个旋回的叠合改造使各构造带发生差异沉降,是煤系源岩二次生烃差异性的主控因素。印支末形成的隆起区直到新近纪才接受沉积,无法补偿中晚三叠世达到的煤阶。喜山早期形成的凸起带缺失古近系,故古近纪没有生烃。洼陷带持续沉降,二次生烃起始热演化程度相当,但古近系沉积差异导致南北生烃差异。南部局部地区有机质于古近纪全面进入生烃高峰期,古近纪生烃贡献巨大,新近纪—第四纪生烃量明显减少。北部地区有机质刚进入生烃高峰期,古近纪和新近纪生烃量相当。

## 参考文献(References)

- 1 胡宗全,周新科,张玉兰. 济阳拗陷前第三系油气勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 655-660 [Hu Zongquan, Zhou Xinke, Zhang Yulan. Potential of petroleum exploration in pre-Tertiary in Jiyang depression [J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(5): 655-660]

<sup>①</sup> 吴冲龙. 临清拗陷东部油气资源综合评价——油气成藏地质异常分析与资源定量预测(内部资料). 2002.



- 2 胡宗全, 朱建辉. 渤海湾盆地中南部中-新生代盆地叠合特征及上古生界生烃规律[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 439-444 [Hu Zongquan, Zhu Jianhui. Mesozoic-Cenozoic basin superimposition and upper Paleozoic hydrocarbon generation discipline in the middle and south of Bohai bay basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2008, 30(5): 439-444]
- 3 林武, 李政, 李钜源, 等. 济阳拗陷孤北潜山带天然气成因类型及分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 419-426 [Lin Wu, Li Zheng, Li Juyuan, et al. Genetic types and distribution pattern of natural gases in Gubei buried-hills, Jiyang depression [J]. Oil and Gas Geology, 2007, 28(3): 419-426]
- 4 李春山, 徐春华, 黄永玲. 临清拗陷(东部)石炭二叠系煤成气勘探远景[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1997, 21(2): 25-28 [Li Chunshan, Xu Chunhua, Huang Yongling. Perspective generation of gas from Carboniferous-Permian's coal-bed in Linqing depression [J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 1997, 21(2): 25-28]
- 5 胡宗全, 周新科, 朱建辉. 华北东部地区上古生界生烃潜力分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 697-701 [Hu Zongquan, Zhou Xinke, Zhu Jianhui. Hydrocarbon generation potential of Upper Paleozoic in the eastern part of North China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(6): 697-701]
- 6 陈丽. 临清拗陷东部煤成气资源潜力及勘探方向研究[D]. 山东东营: 中国石油大学, 2009 [Chen Li. Study on resource potential and exploration orientation of coal derived gas in the east area of Linqing depression [D]. Dongying Shandong: China University of Petroleum, 2009]
- 7 吕希学. 渤海湾盆地临清拗陷东部热演化历史和成烃史[J]. 地质科学, 2006, 41(4): 676-677 [Lü Xixue. Thermal evolutionary history and hydrocarbon accumulation in the eastern Linqing depression, Bohai Bay Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(4): 676-677]
- 8 许华政, 周新科, 高金慧, 等. 华北早中三叠世盆地恢复与古生界生烃[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 329-336 [Xu Hua-zheng, Zhou Xinke, Gao Jinhui, et al. Reconstruction of Early-Middle Triassic basin in North China and hydrocarbon generation in Paleozoic [J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(3): 329-336]
- 9 何会强. 临清拗陷东部石炭—二叠系煤成烃成藏作用研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2002 [He Huiqiang. Research on migration and accumulations of hydrocarbons from coal in Permian-Carboniferous in east Linqing depression [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2002]
- 10 徐春华, 宋国奇, 项希勇. 临清拗陷东部晚古生代煤成气成藏条件[J]. 海洋石油, 2002, 111(1): 6-7 [Xu Chunhua, Song Guoqi, Xiang Xiyong. The formation conditions of Upper Paleozoic coal-genetic gas in the east Linqing depression [J]. Offshore Oil, 2002, 111(1): 6-7]
- 11 缪九军. 济阳—临清东部 C—P 煤系源岩二次生烃机制及潜力分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2008 [Miao Jiujun. Analysis of the secondary hydrocarbon-generation mechanism and potential of the Carboniferous-Permian coal-measure source rocks in Jiyang-Linqing depression [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008]
- 12 王力. 济阳和临清拗陷深层天然气成因鉴别与成藏模式研究[D]. 山东东营: 中国石油大学, 2008 [Wang Li. Genetic identification and generation models of deep natural gas in Jiyang and Linqing super-depression [D]. Dongying Shandong: China University of Petroleum, 2008]
- 13 龚育龄, 王良书, 刘绍文, 等. 济阳拗陷大地热流分布特征[J]. 中国科学: D 辑, 2003a, 33(4): 383-391 [Gong Yuling, Wang Liangshu, Liu Shaowen, et al. Distribution characteristics of geothermal heat flow in Jiyang depression [J]. Science in China: Series D, 2003a, 33(4): 383-391]
- 14 龚育龄, 王良书, 刘绍文, 等. 济阳拗陷大地热流分布特征[J]. 中国科学: D 辑, 2003b, 46(5): 652-658 [Gong Yuling, Wang Liangshu, Liu Shaowen, et al. Distribution characteristics of geothermal heat flow in Jiyang depression [J]. Science in China: Series D, 2003b, 46(5): 652-658]
- 15 付明希, 胡圣标, 汪集旻. 华北东部中生代热体制转换及其构造意义[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(6): 514-520 [Fu Mingxi, Hu Shengbiao, Wang Jiyang. Thermal transformation and its tectonic significance of Mesozoic in the eastern part of North China [J]. Science in China: Series D, 2004, 34(6): 514-520]

## Study on Differentiation of Secondary Hydrocarbon Generation for the Carboniferous-Permian Source Rocks in the Eastern Linqing Depression

CHEN Wu-zhen<sup>1</sup> CHEN Hong-han<sup>1,2</sup> LI Wen-tao<sup>3</sup> FENG Yong<sup>2</sup>  
GONG Xue<sup>1</sup> XIONG Wan-lin<sup>1</sup>

(1. Department of Petroleum Geology, Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. Lanzhou Center for Oil and Gas Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Lanzhou 730000;

3. Institute of Geological Science Research, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015)

**Abstract:** Controlled by the multi-cycle superposition and reverse evolution of basin, the source rocks of Carboniferous-Permian coal-bearing strata has experienced secondary hydrocarbon generation in the eastern Linqing Depression, which shows a strong deviation in the space. The simulation results of hydrocarbon generating history of these source

rocks show that ,the Carboniferous-Permian source rocks entered the hydrocarbon generation window in the Early-Middle Triassic ,then the hydrocarbon generation suspended in the whole region due to the Indosinian movement , after that the source rocks buried again in the Meso-Cenozoic and secondary hydrocarbon generation function occurred. The secondary hydrocarbon generation varies with different well blocks in the time and space. There are three secondary hydrocarbon generation stages in sags ,first stage was in the Cretaceous period ,second stage was in the Paleogene period ,and third stage was in the Neogene period ,the peak amount of hydrocarbon generating stage was in the Cenozoic period. Hydrocarbon contribution at the three secondary hydrocarbon generation stages was equivalent to about thirty percent in sags that the Paleogene was relatively thin. While sags that the Paleogene was relatively thick ,hydrocarbon contribution in the Paleogene period was the most ,which was more than fifty percent ,then followed by the Cretaceous period , and hydrocarbon contribution in the Neogene period was the least. There are two secondary hydrocarbon generation stages in prominence ,peak amount of hydrocarbon generating stage was in the Mesozoic period. Hydrocarbon contribution in the Cretaceous period was more than ninety percent. There are none secondary hydrocarbon generation stages in uplift. Most of the hydrocarbon that generated early period has been destroyed ,while the hydrocarbon which generated late period is available on the geological conditions of hydrocarbon accumulation ,this is a main target of oil and gas exploration. Differential subsidence is the main controlling factor of the differentiation of secondary hydrocarbon generation ,which results from the three cycle superposition and reverse evolution of the basin. The uplift that formed at the last stage of the Indo Chinese epoch did not accept formation deposition unit Neogene period. The prominence that formed at the early stage of the Himalayan epoch absented Paleogene deposition. Formation deposition was continued in the sags ,but formation deposition in the Paleogene period was differential. Source rocks in sag have entered in the mature to high-mature stage and can be the gas kitchen of the late coal-gas reservoir at the present.

**Key words:** coal-bearing hydrocarbon source rock; secondary hydrocarbon generation; Multi-cyclic Superimposed Basin; eastern Linqing Depression