

文章编号:1672-9854(2008)-01-0025-08

## 济阳拗陷上古生界烃源岩生烃演化特征

范昆, 张林炎, 周新桂, 黄臣军

(中国地质科学院地质力学研究所)



范昆

**摘要** 济阳拗陷残留上古生界为石炭系—二叠系, 大体上以无棣凸起—滨县凸起—陈家庄凸起为界, 分为南、北两个区域, 推测最大厚度位于惠民凹陷西部, 可达1200m。烃源岩主要为煤、碳质泥岩及暗色泥岩, 其中以太原组和山西组的煤层和暗色泥岩最发育。大致经历了印支期、燕山期及喜马拉雅期等三次埋藏—升降旋回交替演化, 初次生烃期为中三叠世末, 最重要的二次生烃期为早第三纪末。上古生界受热史与埋藏史曲线具有相似性, 说明构造—埋藏史是控制烃源岩热演化的主要因素。依据埋藏—生烃史的不同, 可划分出四类构造演化组合。其中中凹新凸型生烃演化地区有利于寻找上古生界次生油气藏; 中凸新凹型和中凹新凹型生烃演化地区有利于寻找古生古储型油气藏。

**关键词** 烃源岩; 构造演化; 烃类演化; 演化类型; 早古生代; 济阳拗陷

**中图分类号** TE112.115 **文献标识码** A

**范昆** 1981生, 2005年毕业于长江大学地球科学学院。现为中国地质科学院地质力学研究所硕士研究生, 主要从事油气成藏控制因素和成藏规律研究。通讯地址: 100081 北京市海淀区民族大学南路11号; 电话: (010) 68422374

渤海湾盆地上古生界分布广, 残留厚度大, 特别是其煤系地层具有较大的生烃潜力, 20世纪80年代初, 苏桥、文安等煤成气田的发现揭示了渤海湾地区石炭纪—二叠纪煤系地层具有良好的勘探前景。对于济阳拗陷而言, 前人预测石炭系—二叠系的总资源量油为  $3.3 \times 10^8 \text{ t}$ , 气为  $4602.7 \times 10^8 \text{ m}^3$  (其中煤成气  $2634.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ )<sup>[1-2]</sup>, 展示了本区深层具有较大的资源潜力。

本文分析了济阳拗陷上古生界煤系烃源岩在不同时期构造作用影响下的生烃演化过程, 为该区油气勘探提供基础性依据。

### 1 区域地质概况

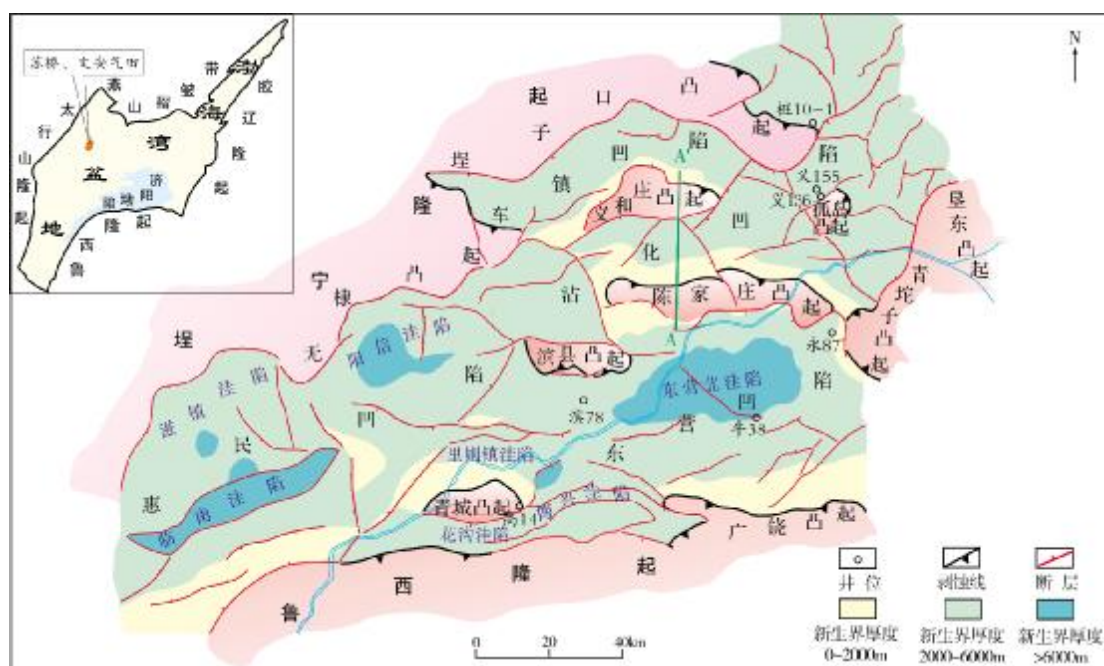
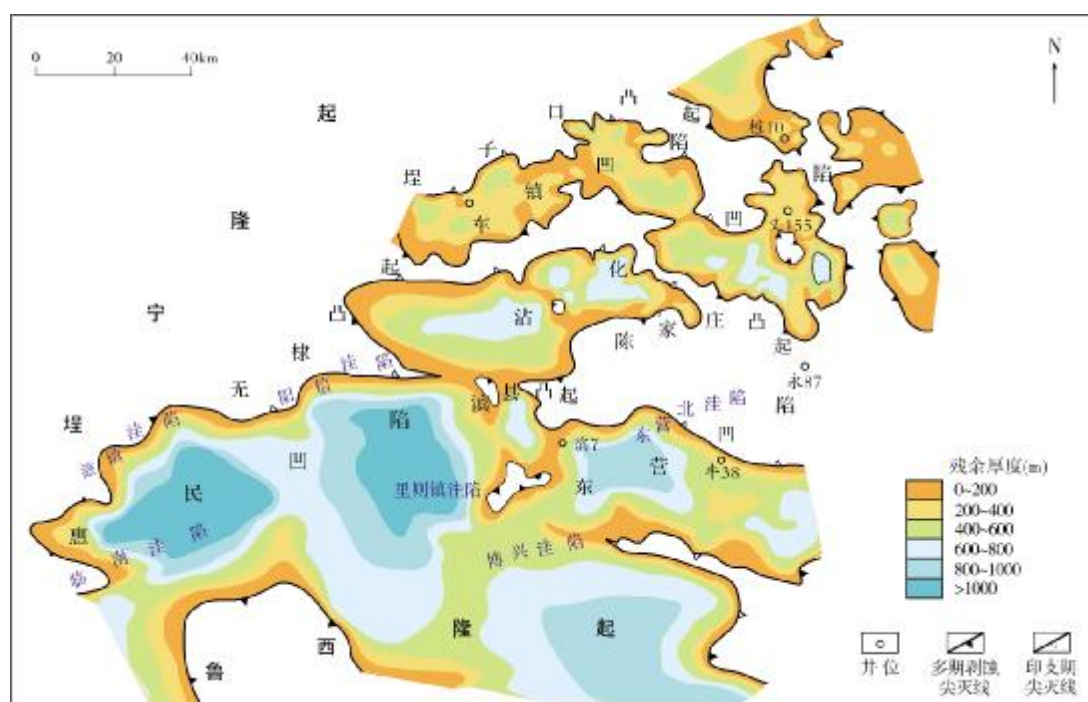
济阳拗陷位于渤海湾裂谷盆地东南部, 呈东北部开口、西南端收敛的扇状展布 (图1), 为西北侧的埕宁隆起和东南侧的鲁西隆起所挟持。该拗陷是一

个中—新生代断陷—拗陷盆地, 具有“北断南超”的构造特点, 凹凸相间, 以凹为主, 主要有车镇、沾化、东营及惠民等四个凹陷。济阳拗陷长约240km, 东北部最宽处约130km, 分布面积约26000km<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。

济阳拗陷地层发育受构造控制, 古生代受加里东运动影响缺失上奥陶统至下石炭统, 因此该区上古生界主要就是石炭系—二叠系, 下部的泥盆系缺失, 下石炭统也缺失。保存的上古生界石炭系—二叠系主要分布在古近纪凹陷区, 大体上以无棣凸起—滨县凸起—陈家庄凸起为界, 分为南、北两个区域 (图2), 凸起等高部位已全部或大部分被剥蚀<sup>[4]</sup>。上古生界在拗陷南部区域的东营凹陷南部、临南洼陷东北部以及里则镇洼陷等分布较厚, 最厚达1200m; 而北部区域, 即沾化凹陷和车镇凹陷, 上古生界相对较薄, 一般为200~600m<sup>[5]</sup>。济阳拗陷上古生界生烃源岩主要为煤、碳质泥岩及暗色泥

收稿日期: 2007-09-11

本文为“基金项目”: 地调项目“东部叠合盆地深层油气成藏潜力评价”经费资助, 编号 1212010633604

图1 济阳坳陷构造单元图<sup>①</sup>图2 济阳坳陷残余石炭系—二叠系厚度分布<sup>①</sup>

① 任建业, 谢习农, 刘晓风, 等. 济阳坳陷深部构造样式及动力学特征. 中国地质大学, 2006.

岩,其中以太原组( $C_{3t}$ )和山西组( $P_{1s}$ )的煤层和暗色泥岩最发育。煤层和泥岩的有机质均以镜质组和惰性组为主(但两者的比例有波动,镜质组约占有机显微组分的50%),壳质组和腐泥组( $E+S$ )含量低(少数样品腐泥组含量较高)(图3)。济阳坳陷上古生界烃源岩以Ⅲ型有机质为主,倾向于生气。

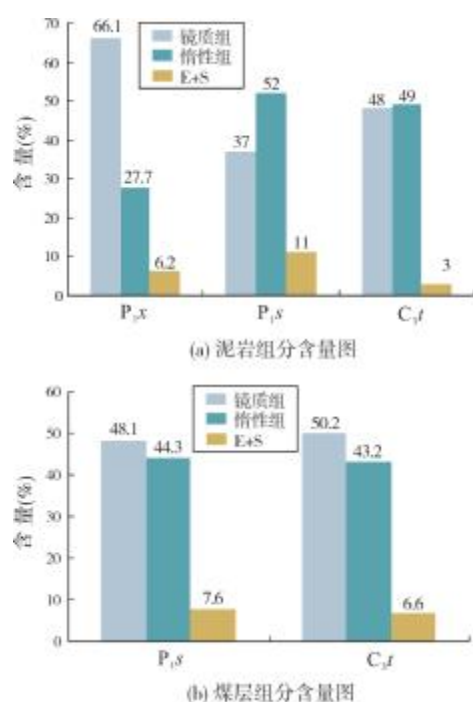


图3 济阳坳陷石炭系—二叠系烃源岩显微组分含量图  
(数据来源于资料②)

$P_{1xs}$  下石盒子组;  $P_{1s}$  山西组;  $C_{3t}$  太原组

## 2 济阳坳陷上古生界构造—埋藏史

华北盆地经历了加里东运动期近 130 Ma 的隆升剥蚀后(图4a),自中石炭世开始再次沉降,形成了中—晚石炭世和早二叠世的海陆交互沉积(图4b)<sup>[6]</sup>。晚二叠世蒙古洋逐渐收缩,并于二叠纪晚期大部分闭合,同时扬子板块向华北板块俯冲,在会聚作用下华北板块于二叠纪开始上升成为陆地,沉积了以河流相为主的陆相沉积<sup>[4]</sup>。济阳坳陷上古生界自沉积以后经历了中、新生代复杂的构造演化,其构造—埋藏史大致经历了印支

期、燕山期及喜马拉雅期等三次埋藏—隆升旋回的交替演化。

### 2.1 印支期 (250—205 Ma)

早三叠世,华北、扬子两板块在华北东部发生最初的点碰撞接触,之后,扬子板块逐渐向北漂移,直至中三叠世晚期开始向华北板块之下俯冲、拼接,整个东部地区在此期间构造相对较平静。济阳坳陷在印支运动早期(250—230 Ma,  $T_{1+2}$ )<sup>[7]</sup>继承了晚古生代构造格局和沉积特点,发育了一套陆内克拉通坳陷沉积。

从中三叠世末开始,扬子板块与华北板块东部发生初始碰撞造山,本区进入一个新的构造演化阶段。晚三叠世(230—205 Ma),华北板块与西伯利亚板块碰撞对接,并与扬子板块剪刀差式闭合,在它们的共同作用下产生南北向挤压应力,结束了南北分异的构造格局,显现出东西分异的特点。由于济阳坳陷的特殊地理位置,表现为北东—南西向挤压褶皱运动,东北部地区抬升幅度相对较大,成为剥蚀区(图4c)。

济阳坳陷目前尚未揭示三叠系,在部分地区二叠系也遭受一定程度的剥蚀。中生界底面表现为中、下侏罗统以角度不整合覆盖于下伏古生界、太古界泰山群之上(图4d),三叠纪原型盆地恢复研究表明<sup>[8]</sup>,三叠系原始沉积厚度大约在 1 000~2 500 m 之间,石炭系—二叠系烃源岩埋深达 3 000 m 左右。

### 2.2 燕山期 (205—65 Ma)

早—中侏罗世为燕山早期旋回(205—163 Ma)<sup>[7]</sup>,除受大别山隆起作用外还受控于太平洋板块俯冲作用,华北进入前陆盆地沉积阶段。济阳坳陷此期经历了一个较长时期的截凸填凹、填平补齐的过程(图4d),使得被晚三叠世挤压逆冲断层和褶皱所造成的高低起伏的地势被剥蚀均夷,凹陷内残余石炭系—二叠系埋深加大。从中侏罗世晚期起,构造活动明显加强。晚侏罗世(163—135 Ma),地层广泛剥蚀,沉积序列间断。早白垩世,由于郯庐断裂的左行走滑作用,本区进入强烈差异性断陷期,石炭系—二叠系烃源岩最大埋深可达 4 000 m。晚白垩世,构造环境由拉张逐渐向挤压转化,中国东部

② 饶丹,钱一雄,贾存善,等. 中国东部有效烃源岩研究及勘探前景评价. 中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所,2000.



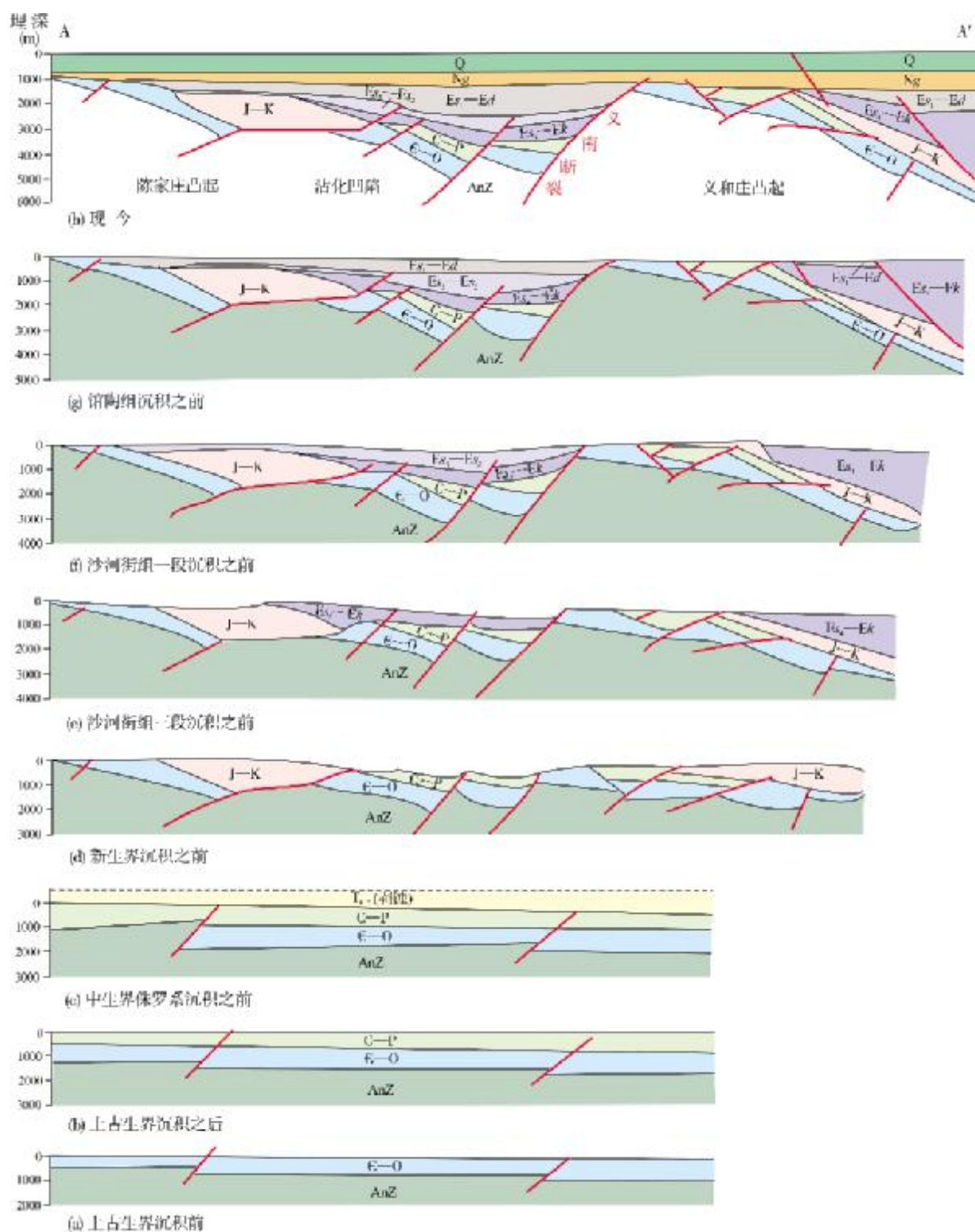


图4 济阳拗陷陈家庄凸起—义和庄凸起构造演化剖面示意图 (据文献[6]改编)

(A—A'剖面位置见图1)

Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组; Ng 馆陶组

陆缘区普遍存在一期区域性抬升作用, 济阳坳陷抬升量最大的在沾化地区, 可达 1000 m。

### 2.3 喜马拉雅期 (65Ma—现今)

至始新世, 由于印度板块与欧亚板块碰撞和太平洋板块由 NNW 向转为 NWW 向俯冲, 华北地区处于右旋走滑-引张构造应力场, 在裂谷伸展作用下, 济阳坳陷总体表现为半地堑式的断陷湖盆<sup>[9]</sup>, 进入了一个较长期的快速沉降阶段, 石炭系—二叠系烃源岩被持续埋藏 (图 4e, 4f)。到古近纪晚期 (相当于东营组沉积晚期), 本区隆升剥蚀; 渐新世连续沉积了沙二上段、沙一段和东营组 (图 4g), 此时石炭系—二叠系埋深可达 5 000 m (图 5)。到新近纪, 本区进入了坳陷阶段, 接受了较厚沉积 (图 4h), 石炭系—二叠系烃源岩被进一步深埋, 在深洼区其埋深可达 6 000~8 000 m。

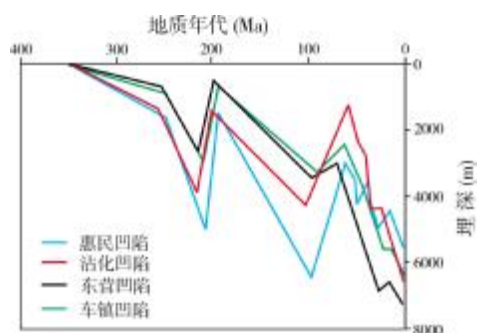


图5 济阳坳陷石炭系—二叠系埋藏曲线图 (据资料③修改)

## 3 烃源岩受热史

烃源岩的油气生成、迁移和聚集与古地热条件密切相关。济阳坳陷上古生界自埋藏以后, 在埋深、热事件和应力场的改造作用下, 经历了不同的地温演化阶段, 烃源岩受热过程复杂<sup>[10]</sup>, 呈锯齿状趋势发展, 可以归纳为三个阶段。

第一阶段 石炭系—二叠系沉积以后, 直到中三叠世末, 这一时期沉积了厚达 2500 m 以上的中—下三叠统, 镜质体反射率达到 0.8%<sup>[10]</sup>, 此时古地温变化在 124~126 °C 之间 (古地表温度取 20 °C) (图 6)。煤系有机质处于成熟阶段的初期, 是本区煤系烃源岩的第一次生烃。晚三叠世, 受印支运动影响, 中—

下三叠统抬升遭受剥蚀, 石炭系—二叠系所处的地温明显下降, 导致热演化停止, 同时前期生成的油气遭到破坏。

第二阶段 侏罗纪早期, 石炭系—二叠系之上又重新接受沉积, 煤系地层埋深又逐渐加大。到早白垩世末, 部分沉降-沉积中心埋深达 4 000 m (如沾化凹陷东部), 远超过中三叠世末的埋深, 因而古地温也比中三叠世末期高 (图 6 中 A, B 方框内的点)。

第三阶段 直到第三纪时, 济阳坳陷才真正进入长期继承性沉积阶段, 到沙河街组 (Es) 沉积时, 本区普遍已达到或超过三叠纪末的古地温, 石炭系底界温度普遍达到 120~190 °C (图 6 中 C 方框内的点)。当石炭系—二叠系埋深超过中三叠世末 3 100 m 的埋深时就进入了“二次成气”阶段, 天然气将在构造活动相对较弱且储盖层组合条件相对优越的区带得以较好的保存。

将图 6 与图 5 进行对比可以看出, 济阳坳陷上古生界烃源岩的受热史与埋藏史曲线具有相似性, 这说明构造-埋藏史是控制该区烃源岩热演化的主要因素。

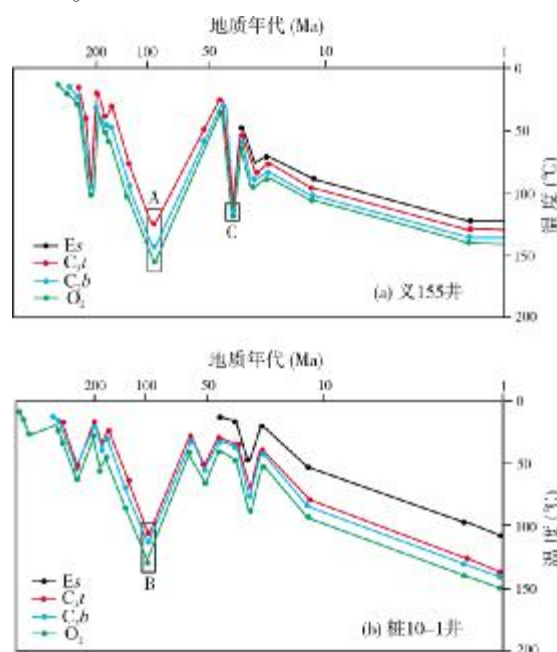


图6 济阳坳陷古生界受热史曲线<sup>③</sup>

Es 沙河街组; C<sub>3t</sub> 太原组; C<sub>2b</sub> 本溪组

③ 郑和荣, 宋国奇, 曹钟祥, 等. 济阳坳陷深层石油地质综合研究及勘探目标评价. 中国石化胜利油田有限公司, 2000.

烃源岩热演化除受构造-埋藏史影响外还与地热异常(如火成活动、火山活动、深部热水活动等)有关。如义136井3475~3853m井段上古生界的三个样品,由于受火成作用的影响, $R_o$ 值分别高达1.36%、1.59%和2.28%,大大高于该井的正常值( $R_o$ 为0.85%~1.0%)。但地热异常对济阳拗陷石炭系—二叠系源岩的影响范围和程度还有待进一步评估。

## 4 上古生界烃源岩成烃演化

### 4.1 演化过程

济阳拗陷是在古生代华北克拉通盆地的基础上经历了印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动等多期次改造而形成的改造型叠合盆地,石炭系—二叠系烃源岩经历了复杂的演化过程。笔者结合埋藏史和受热史,对其生烃过程进行了分析,它主要经历了以下几个过程。

中三叠世末为第一次生烃期。济阳拗陷中三叠世以前处于缓慢沉降-沉积时期,石炭系—二叠系在深埋作用和古地温的影响下发生第一次热演化过程。据胡宗全研究<sup>[11]</sup>,济阳拗陷山西组煤在中三叠世末埋深为3200~3400m,全区总体沉降没有差异, $R_o$ 为0.8%左右。这次演化过程奠定了济阳拗陷有机质成熟度基础,使其进入生烃门限。从图7可以看出埋深小于3100m的地层, $R_o$ 值不随埋深变大而增大,说明济阳拗陷二次生烃门限为3100m。

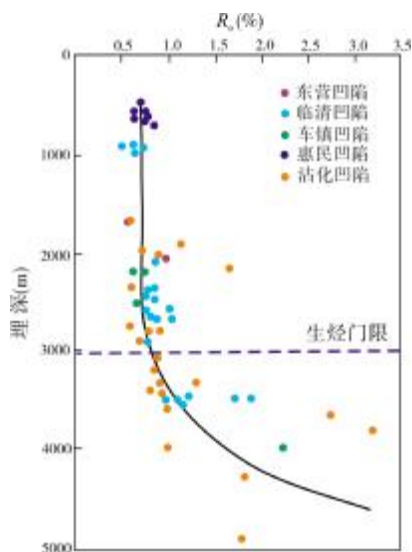


图7 济阳拗陷石炭系—二叠系煤系 $R_o$ 与现今埋深关系图<sup>[12]</sup>

印支期末 济阳拗陷抬升遭受剥蚀,三叠系被剥蚀殆尽,剥蚀厚度达2000m左右,上古生界生烃过程停滞,即一次生烃终止<sup>[13-14]</sup>。同时初次生成的油气由于构造作用而难以保存,因此对目前油气资源勘探没有实际意义,但该期所达到的成熟度有利于烃源岩在之后的燕山期—喜马拉雅期进一步演化。

燕山期 由于受区域构造-热异常的影响,烃源岩受热温度提高,有机质进一步成熟。燕山期凸凹相间的沉降、沉积结构使上古生界源岩演化程度影响相对局限,主要受限于侏罗系—白垩系的沉降-沉积中心的展布情况,在惠民凹陷南部、沾化凹陷北部及孤岛凸起等地区发生了一定程度的大量生烃(成熟度大体在1.8%~2.0%)。

喜马拉雅期 为快速沉积阶段,它使石炭系—二叠系烃源岩再次生烃。早第三纪末由于再次深埋作用,成熟度达到2%的范围已经很广泛,为大量生烃阶段,但惠民凹陷等部分断陷强烈地区已经超过了4%~5%(图8),它们的源岩演化已接近或超过生烃死亡线。晚第三纪以来一直到现在,该地区接受的沉积基本上仅补偿了早第三纪末期的抬升所造成的夷平补齐剥蚀量,其上古生界源岩演化程度基本上与早第三纪末的差异不大,仅在拗陷东北部的沾化东部地区 $R_o$ 值有所增大,反映晚第三纪以来仅沾化凹陷东部发生了再次生烃。

### 4.2 演化类型

济阳拗陷各次级构造单元具有不同的构造演化组合类型,通常认为有中拗新拗型、中隆新拗型、中拗新隆型、中隆新隆型四类<sup>[5]</sup>,造成石炭系—二叠系的分布格局及生烃演化存在差异。依据埋藏-生烃史的不同,笔者对济阳拗陷的生烃演化相应地划分为四种类型,即中凸新凸型、中凹新凸型、中凸新凹型及中凹新凹型。

中凸新凸型 中生代凸起与新生代凸起的叠加区,如陈家庄凸起、义和庄凸起等构造单元,不具备生烃条件,为无效二次生烃区(图9a)。

中凹新凸型 中生代凹陷与新生代凸起的叠加区,如青城凸起区、滨县凸起区及花沟地区,上古生界源岩于燕山期生成的油气在喜马拉雅期被破坏或再次分配,倾向于找上古生界次生油气藏(图9b)。

中凸新凹型 中生代凸起与新生代凹陷的叠加



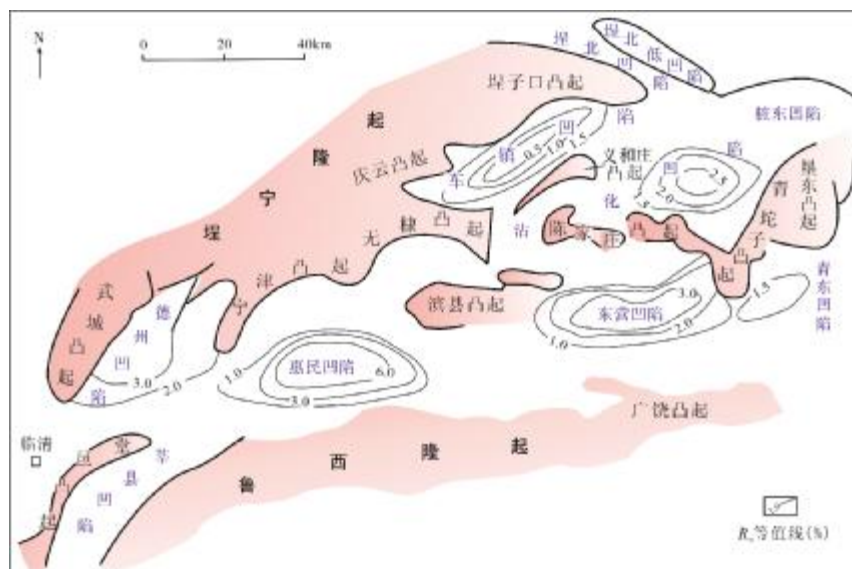
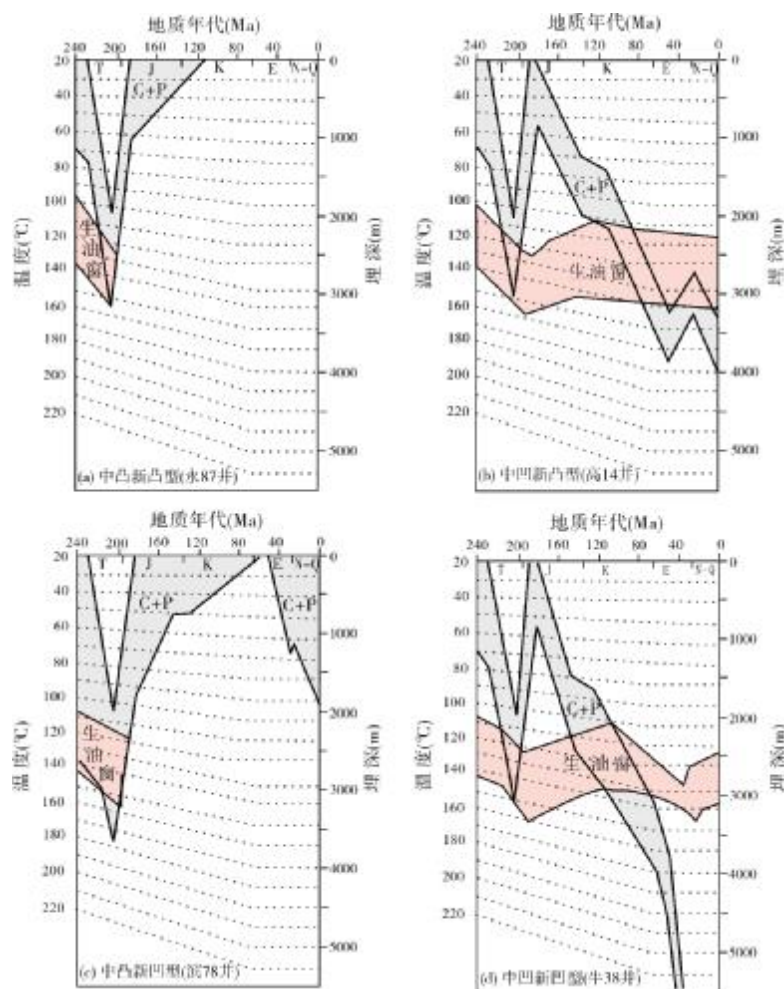


图8 济阳坳陷石炭系—二叠系有机质成熟度分布 (据资料③修改)

图9 济阳坳陷上古生界在不同类型构造中的埋藏史曲线<sup>[15]</sup>

区,如东营凹陷主体部位、车镇凹陷深凹地区、惠民凹陷中西部地区及阳信洼陷等,上古生界源岩在喜马拉雅期才达到二次生烃条件,在这些地区有利于寻找古生古储型油气藏(图 9c)。

中凹新凹型 新生代凹陷与中生代凹陷的叠加区,如沾化凹陷东部孤岛地区,一直处于深埋过程,为有利的煤成气勘探区,若保存条件相对较好,可以形成古生古储型油气藏(图 9d)。

## 5 结 论

(1)在区域构造控制下,济阳坳陷上古生界煤系地层自形成以来具有较复杂的构造-埋藏史,主要有三个埋藏-抬升阶段,分别发生在印支期、燕山期和喜马拉雅期。最大埋深发生在喜马拉雅期,煤系地层埋深达 5 000 m 左右。

(2)上古生界烃源岩受热史主要受控于构造-埋藏史,主要有三个阶段,分别对应于印支期、燕山期和喜马拉雅期。

(3)在构造-埋藏和热力的作用下,上古生界源岩主要发生了三次生烃演化过程。初次生烃期在中三叠世末,最重要的二次生烃期发生在喜马拉雅期。

(4)可划分出中凹新凹型、中凸新凹型、中凹新凸型及中凸新凸型等四种生烃演化类型。其中,中凹新凸型生烃演化地区有利于寻找上古生界次生油气藏;中凸新凹型和中凹新凹型生烃演化地区有利于寻找古生古储型油气藏。

## 参 考 文 献

- [1] 梁生正,谢恭俭,马郡,等. 华北石炭—二叠系残留盆地天然气勘探方向[J]. 天然气工业,1998,18(6):16-19.
- [2] 王俊玲,郑和荣. 中国东部成熟探区剩余油气资源潜力及重点勘探领域[J]. 石油与天然气地质,2003,24(3):296-300.
- [3] 王颖,赵锡奎,高博禹. 济阳坳陷构造演化特征[J]. 成都理工大学学报,2002,29(2):181-187.
- [4] 譙汉生,方朝亮,牛嘉玉,等. 渤海湾盆地深层石油地质[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [5] 李政. 济阳坳陷石炭系—二叠系烃源岩的生烃演化[J]. 石油学报,2006,27(4):29-35.
- [6] 赵锡奎,徐国强,罗志立,等. 济阳坳陷前中生界潜山形成的构造过程与油气聚集规律[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2004,3(6):596-600.
- [7] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [8] 朱炎铭,秦勇,范炳恒,等. 渤海湾盆地三叠系沉积厚度恢复及其意义[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(2):195-200.
- [9] 潘元林,宗国洪,郭玉新,等. 济阳断陷湖盆层序地层学及砂砾岩油气藏群[J]. 石油学报,2003,24(3):16-23.
- [10] 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. 石油与天然气地质,2000,21(1):33-37.
- [11] 胡宗全. 华北东部地区盆地叠合特征与古生界生烃史[J]. 现代地质,2006,20(14):585-591.
- [12] 许化政,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):229-336.
- [13] 郑礼全,李贤庆,钟宁宁. 华北地区上古生代煤系有机质热演化与二次生烃探讨[J]. 煤田地质与勘探,2002,30(3): 21-25.
- [14] 程本合,项希勇,穆星. 济阳坳陷沾化凹陷东部热史模拟研究[J]. 石油实验地质,2000,22(2):172-188.
- [15] 吴智平,李伟,任拥军,等. 济阳坳陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报,2003,77(2):280-286.

编辑:吴厚松

## Hydrocarbon Generation and Evolution Characteristics of Upper Paleozoic Source Rock in Jiyang Depression

Fan Kun, Zhang Linyan, Zhou Xingui, Huang Chenjun

**Abstract:** The remnant Paleozoic strata are Carboniferous-Permian rocks bordered by Wudi Arch-Binxian Arch-Chenjiazhuang Arches in Jiyang depression, which are separated into the south and the north areas. It is estimated that the thickest strata (nearly 1200m) lies in the west part of Huimin Sag. Source rock include coal measures, calcareous mudstone and dark mudstone, in which Taiyuan and Shanxi coalbeds and dark mudstone are most developed. Three alternated cyclic tectonic evolutions of the source rock were undergone during Indo-Sinian, Yanshanian and Himalayan orogenies. The first hydrocarbon generation occurred during the end of Middle Triassic period, and the second hydrocarbon generation, or the most important period, was during the end of Early Tertiary. The resemblance of Upper Paleozoic thermal history curve with the burial history curve indicates that the tectonic-buried process is the main factor controlling the thermal evolution for the source rock. Based on different tectonic-buried histories, four different assemblages of tectonic evolution may be classified in Jiyang Depression. Some potential reservoirs favorable to hydrocarbon discovery are suggested.

**Key words:** Source rock; Tectonic evolution; Hydrocarbon evolution; Evolution type; Early Paleozoic; Jiyang Depression

**Fan Kun:** male, Master degree in progress at Institute of Geomechanics, CAGS. Add: 11 Minzhudaxue Nan Rd., Beijing, 100081 China