

文章编号: 1000-0550(2006)05-0747-09

华北地区上古生界二次生烃及成藏条件特征^①

张英利¹ 赵长毅² 朱炎铭³

(1. 西安石油大学油气资源学院 陕西西安 710065

2 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 3 中国矿业大学 江苏徐州 221008)

摘要 华北地区是我国东部的主要含油气区, 其上古生界烃源岩主要以煤系和暗色泥岩为主。由于石炭—二叠系烃源岩埋藏深, 热演化程度高, 且古生代以来构造条件复杂, 为上古生界烃源岩的二次生烃提供了条件。一次生烃多数发生在印支期, 而二次生烃发生在燕山期和喜马拉雅期。烃源岩主要分布于本溪组、太原组和山西组中, 且南北厚、中间薄, 据参数分析属于中等—好烃源岩。其储层分布于下古生界的白云岩和上古生界的碎屑岩中, 原生孔隙不发育, 储集空间以次生孔隙为主。物性差, 为低孔低渗储层。峰峰组碳酸盐岩、本溪组铝土岩及铝土质泥岩及上覆煤系地层、石千峰组及下三叠统紫红色泥岩及粉砂质泥岩是华北地区的有效盖层, 与储集层匹配形成多套储盖组合。圈闭以断背斜、断鼻和断块为主, 大部分圈闭形成于主要生烃期之前, 是有效圈闭。通过成藏条件分析认为, 华北地区的成藏主控因素是生排烃史和构造发育史的匹配以及成藏后的保存条件, 因此将来应主要寻找那些二次生烃区的古构造或喜马拉雅期形成的新构造。

关键词 华北地区 上古生界 二次生烃 成藏条件

第一作者简介 张英利 男 1979年生 博士 沉积学

中图分类号 TE122 **文献标识码** A

华北地区指燕山以南、大别山以北、太行山以东和鲁西山区所包围的地区^[1], 包括冀中、黄骅、济阳、临清等拗陷, 是我国东部主要的油气勘探区域。近年来, 无论是从实验上还是从理论上, 华北地区上古生代煤系地层的二次生烃都得到大家的广泛关注^[2~9]。由于华北地区是我国东部的主要含油气区^[9~14], 其成藏条件的研究显得尤为重要。因此, 本文根据有机质的热演化重点阐述华北地区的二次生烃特征; 从华北地区上古生界烃源岩入手, 结合储集条件和盖层及有利的生储盖组合和有效圈闭研究上古生界成藏条件, 并确定油气藏形成的控制因素及有利油气区。

1 区域构造沉积演化

黄骅拗陷作为华北地区的组成部分之一, 其构造沉积演化与整个华北地区十分类似, 因此以黄骅拗陷构造发育史为例阐述华北地区的构造沉积演化(图1)。

华北地区中晚元古代—早古生代属于稳定地台, 沉积一套广阔的海相碳酸盐岩为主的灰岩、泥质岩和白云岩岩系。中奥陶世末加里东运动造成区域隆升, 遭受剥蚀, 普遍缺失晚奥陶世—早石炭世沉积。至中

石炭世, 地壳再次下沉, 形成石炭—二叠纪的海陆交互相煤系地层和陆相碎屑岩地层。

三叠纪沉积作用在华北地区广泛发生, 沉积厚度大, 古生界埋藏深, 但由于受印支运动的影响, 大部分地区抬升, 三叠纪以及上古生界遭受剥蚀, 个别地区的上古生界甚至全部被剥蚀殆尽。早、中侏罗世华北地区沉降, 以含煤岩系为主。晚侏罗—早白垩世, 华北地区在 SE—NW 区域构造挤压应力的作用下, 一系列的 NNE 向断裂发生左行走滑, 发育若干小型断陷盆地。整个盆地沉降埋深, 是重要的成盆期。早白垩世末, 盆地隆升遭受剥蚀。大部分地区缺失晚白垩世地层。在古近纪, 由于太平洋板块向欧亚板块北西西向俯冲, 使华北大部分地区进入断陷发育阶段。新近纪, 断裂活动减弱, 在热沉降和重力均衡作用下, 全区整体沉降, 进入拗陷型盆地发展阶段。

总的来说, 华北地区在基底之上, 自下而上发育中上元古界(P_{t-3})、寒武系(C)、奥陶系(O)、上古生界石炭—二叠系(G-P)的本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组、中生界(M_z)、古近系(E)、新近系(N)和第四系(Q)。

①基金项目: 中国石油股份有限公司重点项目(010201-6)资助。

收稿日期: 2005-10-18 收修修改稿日期: 2006-01-16

2 华北地区烃源岩的二次生烃特征

2.1 二次生烃的一般特征

所谓的二次生烃系指烃源岩在受热温度降低导致一次生烃历程被终止之后,当受热温度再次增高并达到有机质再次活化所需的临界热动力学条件时,烃源岩发生的再次生烃演化^[15]。综合前人的研究发现^[2-6,15];无论起始成熟度如何,二次生烃历程均存在在一个生烃高峰,而且生烃高峰出现的成熟度与一次生烃相比始终存在不同程度的滞后特征,即二次生烃存在明显的迟滞性;如果生烃作用进行的比较彻底,则二次生烃量与二次生烃起始成熟度密切相关;在起始成熟度进入一次连续生烃“生油门限”的前提下,二次生烃历程中普遍存在两个生油高峰;二次生烃作用的生烃“死线”与一次连续生烃基本一致, R_o 均在3.5%~4.0%之间。

2.2 华北地区二次生烃特征

华北地区的石炭—二叠系烃源岩埋藏深,热演化程度高,且古生代以来构造条件复杂,为上古生界烃源岩的二次生烃提供了条件。本文以黄骅拗陷和冀中—冀南地区为例来说明整个华北地区上古生界烃源岩的二次生烃。

黄骅拗陷和冀南地区石炭—二叠系沉积后逐渐埋深,至印支期末,有机质的成熟度受控于三叠系的沉积分异, R_o 在0.6%左右(图1),进入生烃门限而发生一次生烃,该期生烃结束时一般只达到成熟早期阶段,生烃量较少。在印支期末的抬升剥蚀使得有机质的成熟度降低,一次生烃结束。在燕山期末,地层再次大规模的埋深,有机质成熟,开始二次生烃的过程。在中生代地层沉积后, $R_o > 0.6%$,最高达到1.0%(图1)。在早白垩世末,整个华北地区再次抬升,有机质成熟度降低,二次生烃结束。在喜马拉雅期,华北地区进入断陷、拗陷发展阶段,上古生界地层深埋,有机质成熟, $R_o > 0.8%$ (图1),又一次二次生烃开始。

冀中地区在中生代末期,开始一次生烃作用,但生烃量有限,难以形成工业性油气聚集。随着后期的抬升,生烃作用停滞。在早第三纪,冀中地区强烈下陷,地温和有机质成熟度迅速增加,开始二次生烃,晚第三纪油气大量生成。

在鲁西、徐怀等地区,上古生界烃源岩热演化和生烃作用主要发生在古生代—早中生代,由于其埋藏深度浅,有机质演化程度低, R_o 分布在0.6%~0.8%。

左右,并且新生界沉积的厚度较薄,也难以具备二次生烃的基本条件^[16-17]。在临清、丘县等拗陷几乎是一个连续生烃过程,主要生烃期是在中生界沉积时期, R_o 值已达2.5%左右,此时油气大部分已经生成。由于有机质成熟度在此时演化程度过高,导致在后续喜马拉雅期的埋深过程中难以进一步演化,即有机质现今成熟度已定型。早白垩世末的抬升和剥蚀使得其生烃结束,在随后的构造运动影响下也不存在二次生烃^[15,16]。在华北地区的济阳、东濮等拗陷个别并存在有机质的二次成熟演化,但是不存在二次生烃^[15]。

华北地区各拗陷内生烃率的展布存在南北差异,南部生烃率总体上高于北部,等生烃率带主要呈NEE向展布。

华北地区内燕山期太原组的二次生烃显著埋深变化较大。冀中拗陷为1100~5500m,冀南地区为1500~6500m(图2);黄骅拗陷为2100~5000m,平均3049m(图3)。总体上来看,在各个拗陷内存在南深北浅的展布趋势。分布深度变化较大的特征,显然是喜马拉雅期构造分异对太原组显著深度现今分布影响更为显著的直观反映。山西组燕山期二次生烃显著深度埋藏与太原组类似,受区域构造演化的控制,显著深度分异性明显,其同样表现为南深北浅的分布特征。太原组喜马拉雅期二次生烃显著埋深冀中—冀南地区都<3500m,黄骅拗陷平均为4010m;山西组喜马拉雅期二次生烃显著埋深与太原组仍然类似,只是深度略浅而已。

3 华北地区上古生界成藏条件

3.1 华北地区上古生界烃源岩特征

上古生界烃源岩主要发育在本溪组、太原组和山西组,个别地区下石盒子组也有发育。烃源岩岩石类型为暗色泥岩、碳质泥岩和煤,其中煤层和暗色泥岩为主要烃源岩。煤系烃源岩分布在下石炭统的太原组和下二叠统的山西组地层中。前者以滨海沼泽相煤系沉积为主,后者则以三角洲平原及河流相煤系沉积为主。

在平面上,黄骅拗陷和冀中—冀南地区的烃源岩呈现出南北部厚、中间薄的分布趋势,整个华北地区也是如此。煤层南北一般厚20~30m,中部一般厚5~15m;暗色泥岩北部的黄骅拗陷最厚超过300m,南部最大厚度超过400m,而中部一般为100~150m^[18]。上古生界干酪根碳同位素值(-23.5%~

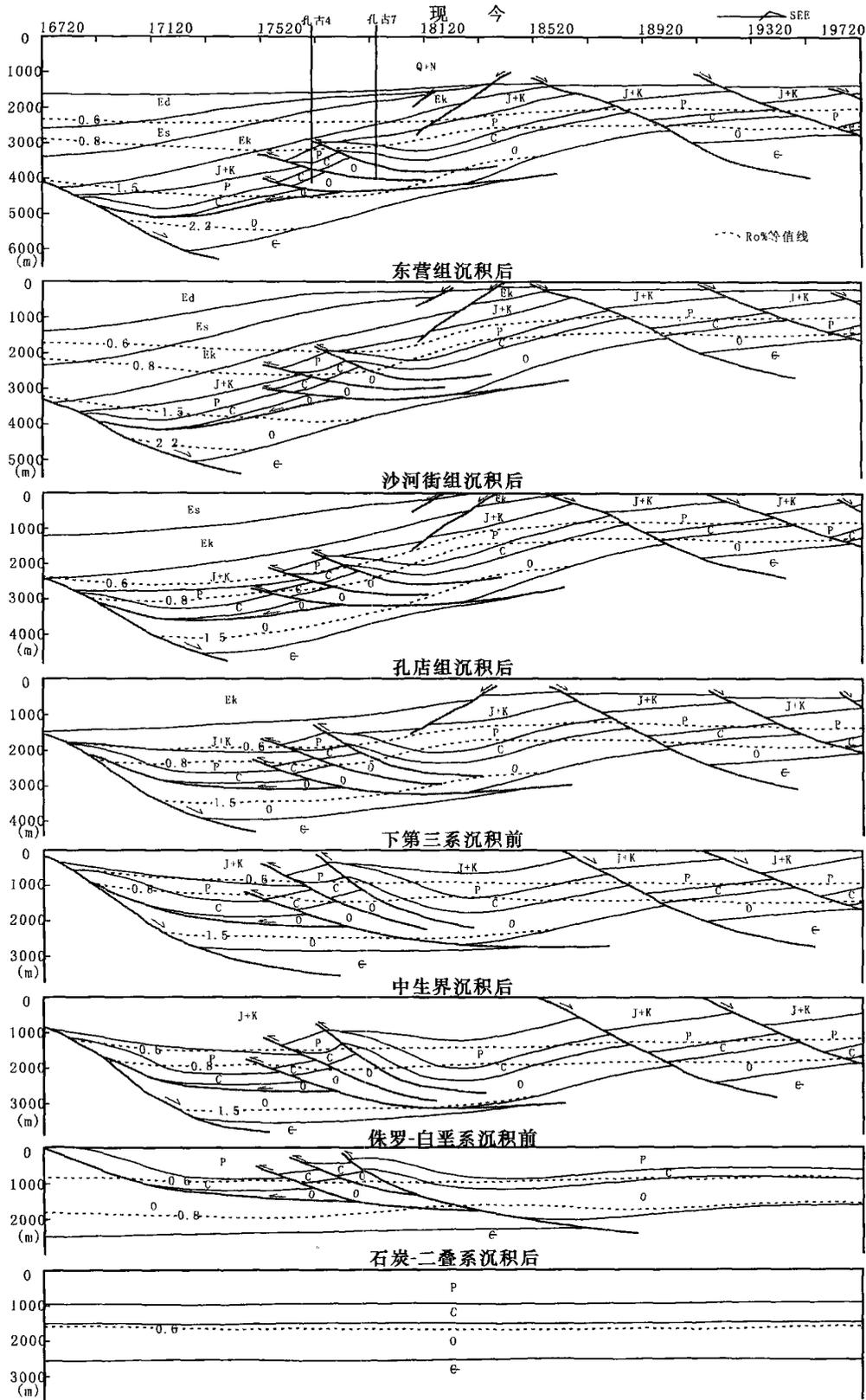


图 1 黄骅坳陷有机质热演化史剖面图

Fig 1 Profile of organic matter thermal evolutionary history for Huanghua Depression

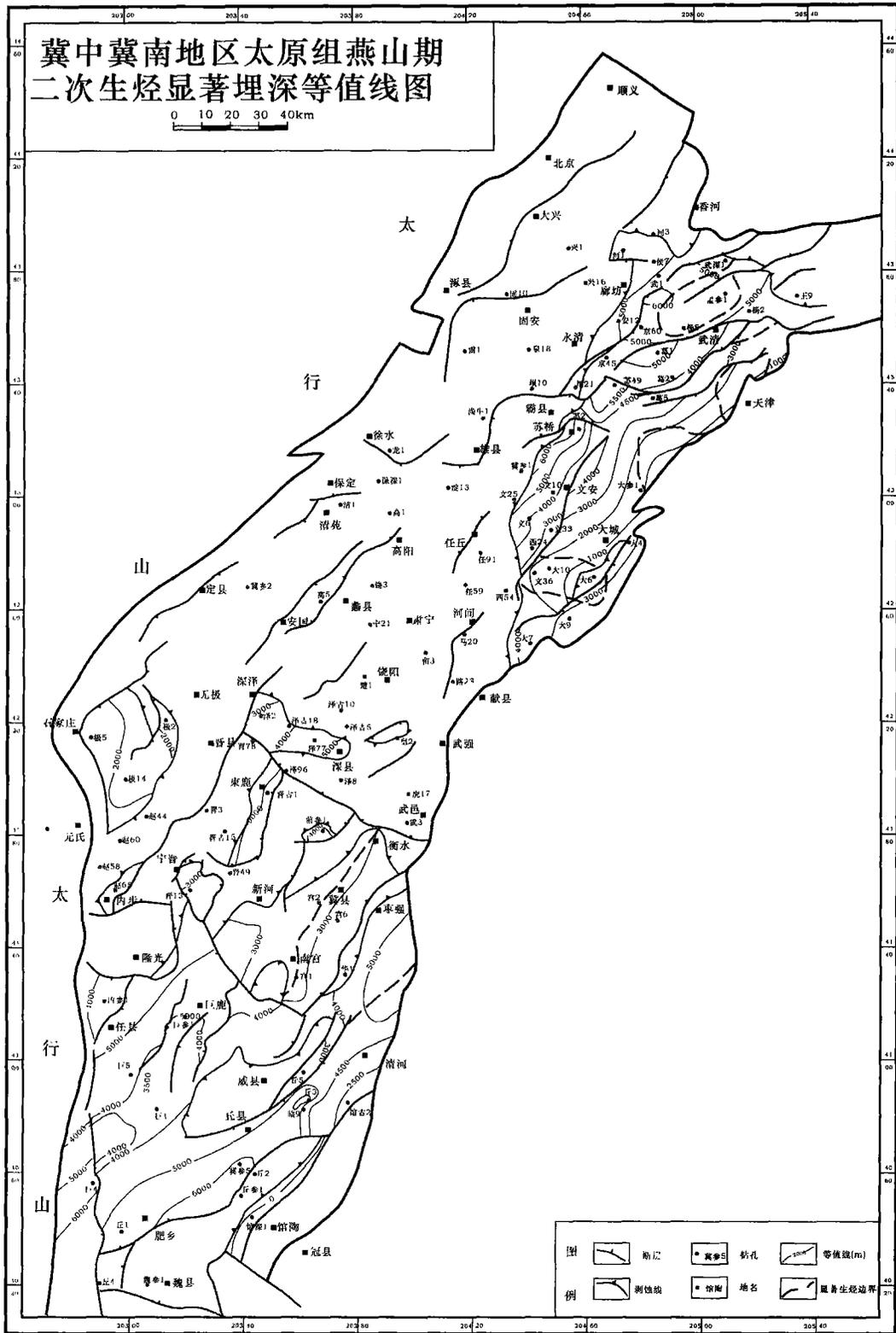


图 2 冀中冀南地区太原组燕山期二次生烃门限显著埋藏深度等值线图

Fig 2 Contour map of secondary hydrocarbon generation burial depth of Taiyuan Formation in Jizhong Jinan areas

-25 6‰)①、氯仿沥青“A”的族组成及岩石热解分析数据均表明烃源岩的有机质类型多数为腐殖型

① 王铁冠, 王飞宇. 大港探区古生界烃源岩演化特征、生烃潜力及油气资源评价. 大港油田地质勘探开发研究院报告, 1998

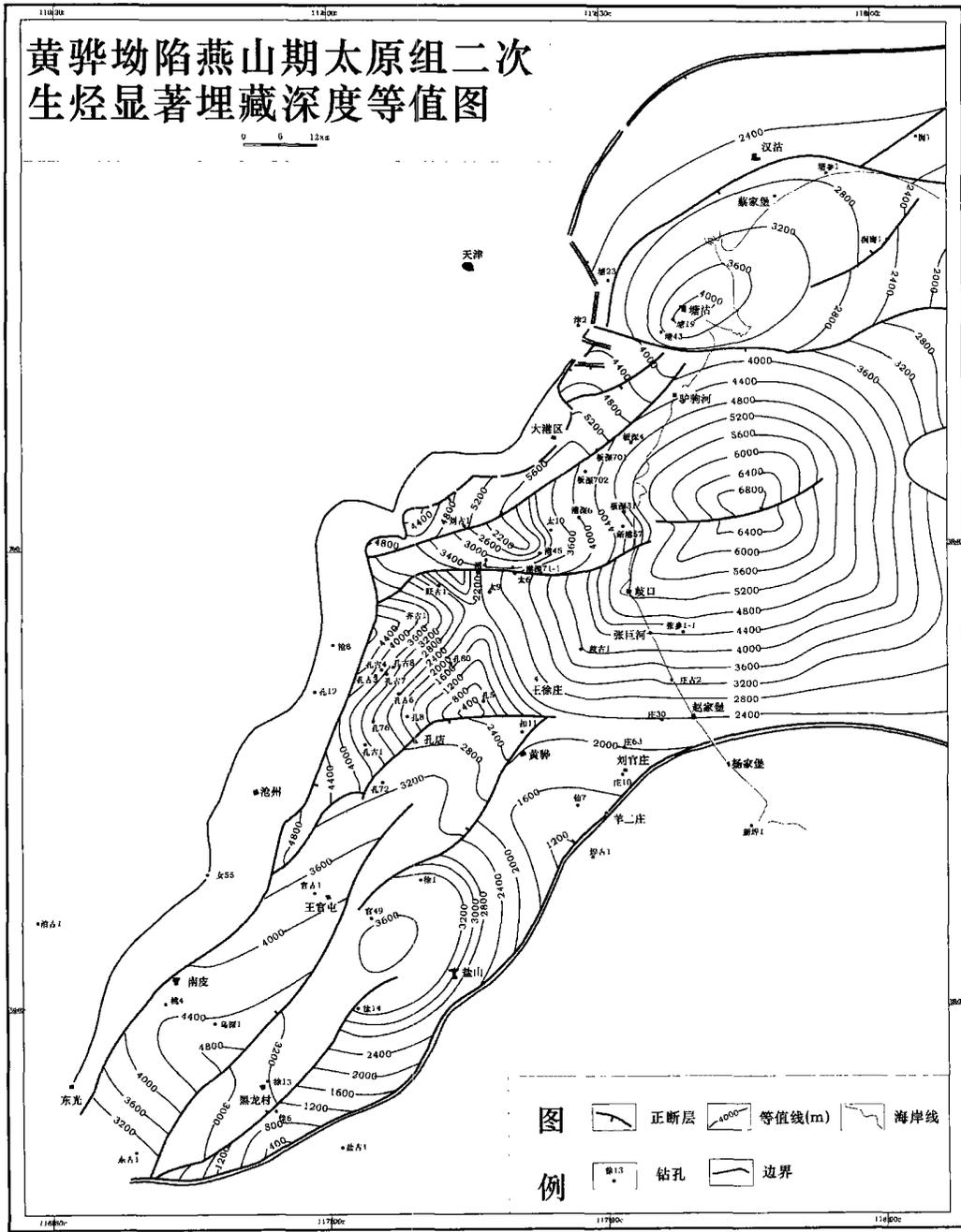


图 3 黄骅坳陷太原组燕山期二次生烃显著埋藏深度等值线图

Fig 3 Contour map of secondary hydrocarbon generation burial depth of Taiyuan Formation in Huanghua Depression

(III), 小部分为混合型(II); 烃源岩的有机碳多数 > 1.5%, 同时结合各层位的氯仿沥青“A”认为太原组为好的烃源岩, 本溪组和山西组烃源岩属于中等一好。烃源岩的多数 R_o 值位于 0.5% ~ 1.3% 之间, 已处于低成熟—成熟阶段, 只有少数 R_o 值 > 1.3%。

3.2 华北地区的储集条件

3.2.1 下古生界碳酸盐岩储层

华北地区下古生界储层分布于亮甲山组、马家沟

组和峰峰组, 岩石类型为灰岩、白云岩、泥质碳酸盐岩。但白云岩类较石灰岩类储层孔隙度高、渗透率高、含油性好, 是最重要的类型。

奥陶系碳酸盐岩因埋藏深, 经成岩作用的改造, 原生孔隙大部分消失, 产生大量的溶蚀孔和溶蚀缝。因此, 一般常见的储集空间为洞、缝、孔。碳酸盐岩的孔隙度一般为 2% ~ 6%, 渗透率为 $1 \times 10^{-3} \sim 9 \times$

$10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为低孔、低渗储层。碳酸盐岩储层的储集空间主要由溶蚀作用形成, 其物性主要受岩溶的发育程度控制, 岩溶发育的地区就是有利储层发育带。

3.2.2 上古生界碎屑岩储层

华北地区上古生界储层分布于上、下石盒子组及山西组, 主要是一套河流—三角洲砂岩储集体, 以长石砂岩、岩屑砂岩或石英长石砂岩为主, 填隙物含量低, 主要为结晶高岭石、后生方解石等。

上古生界砂岩经过漫长而复杂的成岩作用后, 已经进入了晚成岩期, 原生孔隙正逐渐消减, 储集空间以次生孔隙为主, 其类型有粒间溶孔、粒内溶孔以及微孔隙等。砂岩物性特征表现出低孔、低渗的特点。据华北东部统计, 孔隙度在 $2.5\% \sim 10\%$ 的占 65.2% , 渗透率主要分布在 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

上古生界砂岩储层物性主要受岩性和成岩作用控制。储层砂岩以长石砂岩和岩屑砂岩为主, 成分成熟度和结构成熟度均较低, 同时成岩作用强, 已经进入晚成岩期, 原生孔隙不发育, 物性差。上古生界砂岩储集层虽然物性较差, 但仍不失为较好的储层。当局部地区存在风化溶蚀或构造缝发育等特定条件时, 其储集性能有可能变好。

3.3 盖层条件与生储盖组合

对于古生界的油气藏, 由于其形成的时间长, 经历多期的构造运动, 且油气的演化程度高, 更需要有良好的盖层条件。华北地区经历了多次的构造运动, 导致沉积上的旋回性, 形成多套储盖组合。

下古生界峰峰组上部地层本区分布范围较广, 上部的 $35 \sim 140 \text{m}$ 可作为峰峰组下部及马家沟组上部的直接盖层, 形成上生下储的生储盖组合; 石炭系本溪组铝土岩及铝土质泥岩及上覆煤系地层是下古生界碳酸盐岩储集体系的重要区域性盖层, 其具有很好的封闭性, 煤系地层对流体的隔挡作用非常突出, 且有异常高压存在, 盖层的质量极佳, 也形成上生下储的生储盖组合; 石千峰组及下三叠统紫红色泥岩及粉砂质泥岩是上古生界石盒子砂岩储集层系的重要盖层。早期欠压实现象的出现, 有利于其下部砂岩储层的保存, 同时也说明该套泥岩早期泻水条件差, 为盖层形成奠定了基础, 形成自生自储的生储盖组合。

华北地区喜马拉雅期构造运动主要以张性为主, 形成一系列断陷盆地, 一方面使得原来形成的油气藏遭到破坏, 另一方面断层的侧向封堵对油气的形成也起决定性作用。此外, 华北地区中生代的泥岩和火山

岩、第三系的泥岩, 和古生界储层配套也可以构成有利的生储盖组合。

3.4 圈闭条件

华北地区古生界地层沉积之后, 经历了印支、燕山、喜马拉雅三次大的构造运动, 形成复杂的构造格局和多种圈闭类型。经过印支期和燕山期的挤压, 形成一系列的背斜, 后期的喜马拉雅运动对早期形成的背斜有一定的改造作用, 使得原来的背斜遭到破坏, 形成一些断背斜、断鼻和断块构造, 成为喜马拉雅期二次生烃油气聚集的场所。

在华北地区由于加里东运动使得奥陶系顶面遭受风化剥蚀, 形成风化壳, 其与上覆的石炭—二叠系盖层组合形成良好的地层不整合遮挡圈闭。

圈闭的形成时期与生烃期的匹配关系, 对油气藏的形成有重要意义。华北地区的的主要生烃期是燕山期和喜马拉雅期, 大部分圈闭已经或正在生成, 是有效圈闭, 形成相应的油气藏。

3.5 典型的油气藏解剖

以黄骅坳陷的孔古4井和冀中地区的苏49井为例, 阐述成藏条件。

1) 孔古4井油藏

孔古4井潜山为一北东走向被断层复杂化的狭长型背斜带(图4)。东西两侧分别被两条北东向断层所夹持, 内部被三条逆冲断层切割。孔古4井中生界油层顶界构造为被北东向断层所控制的顺向断鼻圈闭。孔古4井煤层厚度大, $10 \sim 12 \text{m}$, 氯仿沥青“A”多数 $> 2\%$, 总烃多数 $> 10\,000 \times 10^{-6}$, 属于较好的烃源岩。据 P_r/Ph 碳同位素、气相色谱等指标表明, 油气主要来源于石炭—二叠系^[19]。

石炭—二叠系沉积后, 烃源岩 $R_o < 0.6\%$, 未进入生油门限。三叠纪时期经过了长期的剥蚀, 此时烃源岩刚成熟, 一次生烃, 但生烃量少。燕山期, 孔古4井石炭系煤系地层在中生代中期埋深达到 $2\,000$ 多米(图1), 构造运动强烈, R_o 可达 $0.6\% \sim 1.0\%$, 烃源岩已达到成熟阶段, 为二次生烃期, 生成的油气沿构造裂缝由烃源岩排出, 进入储层, 聚集成藏。随后在白垩纪末, 由于抬升剥蚀, 二次生烃中止。在孔店组沉积后, 石炭—二叠系烃源岩再次达到了生油门限, 尤其是到了新近纪时构造反转后, 石炭系埋深达到 $3\,000$ 余米, 再次进入二次生烃阶段。到了新近纪,

① 赵长毅, 朱炎铭, 孟元林, 等. 渤海湾盆地含煤岩系石油地质研究与有利地区选择. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2001

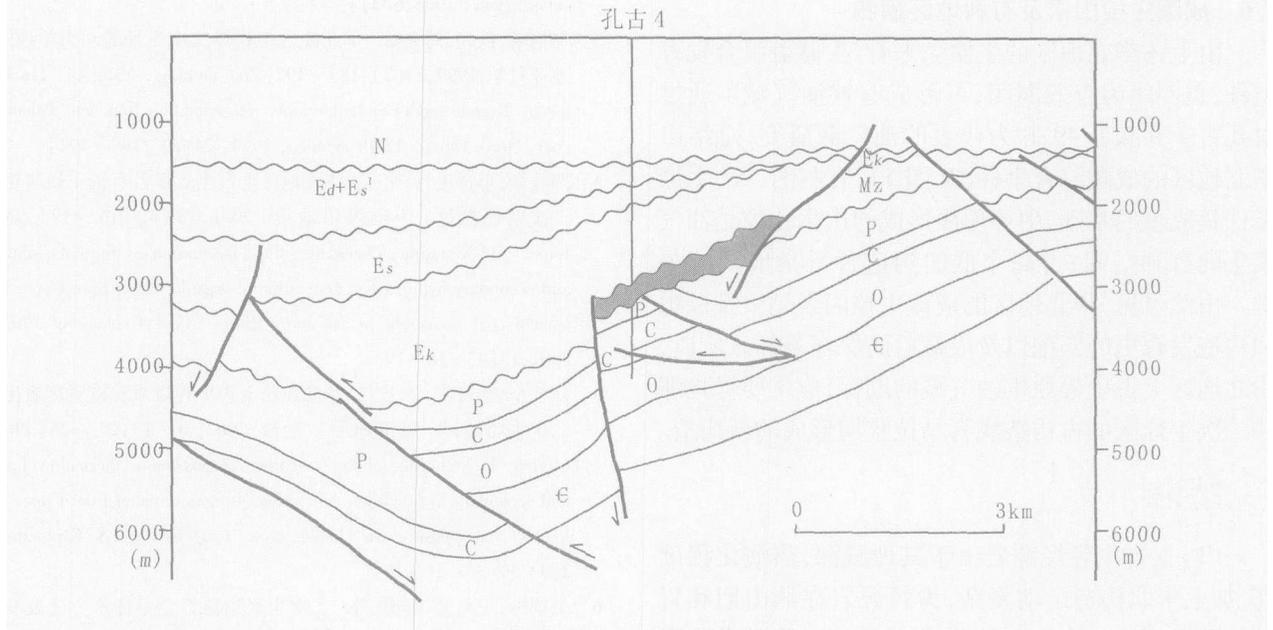


图 4 孔古 4 井油藏剖面图

Fig 4 Map of oil reservoir of Well Konggu 4

石炭—二叠系所处深度位置为 $> 2\ 800\text{ m}$, 石炭—二叠系地温和有机质成熟度大幅度增加, 烃源岩进入生烃高峰。

孔古 4 井中白垩系砂岩次生孔隙是油气聚集的有效空间和运移通道。孔隙类型以次生溶孔为主, 高孔高渗, 是好储层; 在中生代末—古近纪沉积前的沉积间断期间, 孔西潜山遭剥蚀, 形成风化淋滤带, 孔古 4 井处于较高部位, 储层形成溶蚀孔, 大大改善了储集性能。孔西潜山白垩系红色泥岩、较厚的古近系地层使油气的保存条件变好, 是成藏有利因素。

2) 苏 49 井油气藏

苏 49 井位于冀中拗陷内, 其生烃特征与前述冀中地区的生烃特征类似。在中生代末期 R_o 为 0.62%, 开始一次生烃, 生烃率仅为 5 mg/gTOC 。随后遭受剥蚀, 一次生烃近于停滞。古近纪, 强烈下陷, 有机质成熟度迅速增加, 开始二次生烃。新近纪, 地温和有机质成熟度大幅度增加, R_o 达 0.8% ~ 1.5%。油气大量生成。总之, 在古近纪—新近纪苏 49 井已大量生烃。在古近纪苏 49 井处于晚成岩阶段 A 期, 储层次生孔隙发育, 盖层封闭性能好, 烃源岩进入排烃门限且大量排烃, 实现了真正意义上的油气藏。

350		300		250		200		150		100		50		0		距今时间
0	C+P			T	J+K			E	N+Q					地层时代		
古生代				中生代						新生代						
				一次生烃			二次生烃			二次生烃				生烃史		
原生孔隙				次生孔隙												储层发育史
差				中等		好										盖层发育史
							一次排烃						二次排烃		排烃史	
				潜山发育期									圈闭发育		圈闭发育史	
							一次						二次		成藏期	
				← 成藏条件具备												保存时间

图 5 华北地区成藏综合事件图

Fig 5 Analysis on the pool forming events of Huabei areas

3.6 成藏主控因素及有利地区预测

由上述华北地区的生储盖来看,生储盖组合发育俱佳,且圈闭为有效圈闭,可形成有效油气藏。通过对孔古4井和苏49井为代表的油气藏研究,总结出华北地区的成藏综合事件图(图5);有利的二次生烃条件是成藏的基础,中等埋深形成的次生孔隙是油气聚集的有利空间,古高今低的构造背景是成藏的关键。由此可见,华北地区的成藏主控因素是生排烃史和构造发育史的匹配以及成藏后的保存条件。所以,华北地区上古生界原生油气藏的勘探,应主要寻找那些二次生烃区的古构造或喜马拉雅期形成的新构造。

4 结论

(1)上古生界烃源岩由于其埋藏深,热演化程度高,加上华北构造运动复杂,为烃源岩在燕山期和喜马拉雅期进行二次生烃提供有利条件。黄骅拗陷和冀南地区二次生烃时期为燕山期和喜马拉雅期,而冀中地区的二次生烃时期为喜马拉雅期,且二次生烃存在迟滞现象,太原组和山西组的二次生烃门限埋深变化较大。部分地区则不存在二次生烃。

(2)华北地区烃源岩主要是含煤岩系和暗色泥岩,太原组为好的烃源岩,本溪组和山西组属于中等一好烃源岩;储集层分布于下古生界的碳酸盐岩和上古生界的砂岩中,原生孔隙不发育,储集空间均以次生孔隙为主,且具有孔隙度和渗透率低特征。盖层分布广泛,形成多套生储盖组合。圈闭则以断背斜、断鼻和地层不整合遮挡为主,其与油气的形成时期匹配关系良好,为有效圈闭。

(3)由于上古生界生、储、盖、排俱佳,因此形成以孔古4井和苏49井为代表的油气藏。根据构造演化史以及成藏条件分析,华北地区的成藏主控因素是生排烃史和构造发育史的匹配以及成藏后的保存条件。所以,华北地区上古生界原生油气藏的勘探,应主要寻找那些二次生烃区的古构造或喜马拉雅期形成的新构造。

参考文献 (References)

- 张恺,罗志立,张清,等.中国含油气盆地的划分和远景.石油学报,1980 1(4):1~18 [Zhang Kai Luo Zhili Zhang Qing et al Classification of basins and potential hydrocarbons resources in China Acta Petroli Sinica 1980 1(4): 1~18]
- 冉起贵.华北地区上古生界煤岩成烃及二次成烃研究.天然气地球科学,1995 6(3):13~17 [Ran Qigui Research on hydrocarbon re-generation of the Upper Paleozoic coals in North China Natural Gas

- Geosciences 1995 6(3): 13~17]
- 邹艳荣,杨起,刘大锰.华北晚古生代煤二次生烃的动力学模式.地球科学,1999 24(2):189~192 [Zou Yanrong Yang Qi Liu Dameng Kinetic model of hydrocarbon re-generation from late Paleozoic coal North China Earth Science 1999 24(2): 189~192]
- 郑礼全,李贤庆,钟宁宁.华北地区上古生界煤系有机质热演化与二次生烃探讨.中国煤田地质,2001 13(4):16~19 [Zheng Liquan Li Xianqing Zhong Ningning Discussion on thermal evolution and secondary hydrocarbon generation of organic matter from Upper Paleozoic coal measures in Northern China Coal Geology of China 2001 13(4): 16~19]
- 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.煤田地质与勘探,2002 30(3):21~25 [Zheng Liquan Li Xianqing Zhong Ningning Discussion on thermal evolution and secondary hydrocarbon generation of organic matter from Upper Paleozoic coal measures in Huabei area Coal Geology & Exploration 2002 30(3): 21~25]
- 关德师,王兆云,秦勇,等.二次生烃迟滞性定量评价方法及其在渤海湾盆地中的应用.沉积学报,2003 21(3):533~538 [Guan Deshi Wang Zhaoyun Qin Yong et al Quantitative evaluation method of secondary hydrocarbon generation and its application in Bohai Bay basin Acta Sedimentologica Sinica 2003 21(3): 533~538]
- 许化政,周新科.文留地区石炭—二叠纪煤系生烃史及生烃潜力.石油与天然气地质,2004 25(4):400~407 [Xu Huazheng Zhou Xinke Hydrocarbon generation potential and history of Carboniferous Permian coal measure strata in Wenliu area Oil & Gas Geology 2004 25(4): 400~407]
- 朱炎铭,秦勇,范炳恒,等.黄骅拗陷深层古生界烃源岩的生烃演化.地质科学,2001 36(4):435~443 [Zhu Yanming Qin Yong Fan Bingheng et al Hydrocarbon generation evolution of Paleozoic source rocks in the deep zone of Huanghua Depression Chinese Journal of Geology 2001 36(4): 435~443]
- 朱炎铭,秦勇,范炳恒,等.武清凹陷石炭—二叠系烃源岩的二次生烃评价.地球科学,2004 29(1):77~84 [Zhu Yanming Qin Yong Fan Bingheng et al Evaluation of the second hydrocarbon generation of the Permian Carboniferous source rocks in Wuqing Depression Earth Science 2004 29(1): 77~84]
- 秦建中,王静,郭爱明.冀中拗陷未熟油研究及勘探前景.沉积学报,1997 15(2):105~108 [Qin Jianzhong Wang Jing Guo Aiming Research on immature oils in the Jizhong Depression and its exploration prospect Acta Sedimentologica Sinica 1997 15(2): 105~108]
- 秦建中,王静,李欣,等.渤海湾盆地饶阳凹陷未熟—低渗油成烃成藏条件研究.石油实验地质,2003 25(增刊):566~572 [Qin Jianzhong Wang Jing Li Xin et al Study on the hydrocarbon generating and pool forming conditions of immature oil in the Raoyang Depression of the Bohaiwan Basin Petroleum Geology & Experiment 2003 25(Suppl): 566~572]
- 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.天然气工业,1998 18(6):16~20 [Liang Shengzheng Xie Gongjian Ma Jun et al Exploration prospects for natural gas in the

- Carboniferous-Pennsylvanian remnant basins in North China. *Natural Gas Industry* 1998, 18(6): 16~20]
- 13 何海清, 王兆云, 程玉群. 渤海湾盆地深层石油地质条件分析. *沉积学报* 1999, 17(2): 273~279 [He Haiqing, Wang Zhaoyun, Cheng Yuqun. Petroleum geology condition analysis to the deep zone of Bohai Gulf Basin. *Acta Sedimentologica Sinica* 1999, 17(2): 273~279]
- 14 王兆云, 何海清, 程克明. 华北区古生界原生油气藏勘探前景. *石油学报* 1999, 20(2): 1~6 [Wang Zhaoyun, He Haiqing, Cheng Keming. Exploration prospect of Paleozoic primary oil and gas pools in Huabei area. *Acta Petrologica Sinica* 1999, 20(2): 1~6]
- 15 秦勇, 朱炎铭, 范炳恒, 等. 沉积有机质二次生烃理论及其应用. 北京: 地质出版社, 2001. 70~170 [Qing Yong, Zhu Yanming, Fan Bingheng, et al. Theory and Its Application of Hydrocarbon Regeneration from Sedimentary Organic Matters. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 70~170]
- 16 秦建中, 贾蓉芬, 郭爱明, 等. 华北地区煤系烃源层油气生成、运移、评价. 北京: 科学出版社, 2000. 161~312 [Qin Jianzhong, Jia Rongfen, Guo Aiming, et al. Generation, Migration, Evaluation of Oil Gas Generated from Coal Measure Strata in North China. Beijing: Science Press, 2000. 161~312]
- 17 郭绪杰, 焦贵浩. 华北古生界石油地质. 北京: 地质出版社, 2002. 193~274 [Guo Xuji, Jiao Guihao. Paleozoic Petroleum Geology in North China. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 193~274]
- 18 戴金星, 戚厚发, 王少昌, 等. 我国煤系的气油地球化学特征、煤成气藏的形成条件及资源评价. 北京: 石油工业出版社, 2001. 101~111 [Dai Jinxin, Qi Houfa, Wang Shaochang, et al. Geochemical Features of Hydrocarbon from Coal Measure Formation and Resource Evaluation of Coal Formed Gas Reservoir in China. Beijing: Petroleum Industrial Press, 2001. 101~111]
- 19 程克明, 熊英, 张晓宝. 孔西潜山奥陶系原油藏成藏时期探讨. *石油勘探与开发*, 2002, 29(4): 16~20 [Cheng Keming, Xiong Ying, Zhang Xiaobao. An approach to the timing formation for primary oil pools of Ordovician system in Kongxi buried hill. *Petroleum Exploration and Development* 2002, 29(4): 16~20]

Secondary Hydrocarbon generation and Reservoir forming Conditions of Upper Palaeozoic in Huabei Area

ZHANG Ying-li¹ ZHAO Chang-yi² ZHU Yan-ming³

(1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

3. China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221008)

Abstract Huabei basin is an important hydrocarbon-generation area in East China. Source rocks in upper Paleozoic consist of coal measure strata and dark mudstone. Because they were deeply buried and highly evolved and structural conditions are complicated after Paleozoic, there exists secondary hydrocarbon generation in Carboniferous-Pennsylvanian source rocks. Primary hydrocarbon generation occurred in Yinzhi stage, while secondary occurred in Yanshan stage and Xinialaya stage. Source rocks distribute in Benxi Formation, Taiyuan Formation and Shanxi Formation. And thickness in south and north areas is big while that in middle area is small. According to lots of parameters, source rocks are attributed to middle to good. Reservoirs exist in dolomite of lower Paleozoic and clastic rocks of upper Paleozoic. Primary pore poorly developed, so reservoir space mainly consists of secondary pore. And reservoir rocks are poor in physical properties, which are characterized by low porosity and low permeability. Carbonates in Fengfeng Formation, bauxite and bauxitic mudstone and overlying coal measure strata in Benxi Formation, reddish purple mudstone and sily mudstone in Shiqianfeng Formation and lower Triassic are good cap rocks, which formed several reservoir cap assemblages matching reservoir rocks. Traps are mostly fault anticline, fault nose and fault block. And they are good because they formed before hydrocarbon generation period. Through analysis of reservoir formed conditions, the formation of pools in Huabei basin mainly depended on the match of hydrocarbon generation history, expulsion history and structural history and the preservation conditions of pools after their formation. So the future plays of the Huabei basin should be focused on the paleostructure and new structure formed Xinialaya stage where exist secondary hydrocarbon generation.

Key words Huabei areas, upper Palaeozoic, secondary hydrocarbon generation, reservoir forming conditions