

中国重油沥青资源的形成与分布

胡见义 牛嘉玉

(北京石油勘探开发科学研究院, 100083)

中国重油多具陆相成因特点: 硫、微量元素及饱和烃含量均低。严重生物降解等稠变作用对甾萜化合物和多环芳烃均产生影响, 并造成原油及族组分较大幅度的稳定碳同位素分馏。重质油藏多为新构造运动产物, 与常规油藏有一定共生关系。中国重油沥青资源分布广泛, 储量丰富。

关键词 重油 沥青 稠变作用 重质油藏 油气分布规律

第一作者简介 胡见义 男 59 岁 教授级高工 石油地质与勘探

重油是全球石油烃类资源中的重要组成部分, 具有比常规石油资源储量高数倍的巨大潜力。中国重油、沥青资源分布广泛, 储量丰富, 已在 12 个盆地(凹陷)发现了 70 多个重质油田(图 1)。

一、重油沥青的地质与地球化学特征

中国重油、沥青主要产于中、新生代的陆相地层, 少量产于古生代的海相地层。储集层以碎屑岩为主, 具高孔隙、高渗透、胶结疏松的特征^[1]。重质油的形成常与石油的二次运移有关, 运移距离愈远, 原油的稠变程度越高。因此, 常与常规油有共生关系, 在一个油气聚集带中, 从凹陷向边缘, 原油会由常规油变为重质油或沥青; 从深层至浅层; 也如此。重质油主要分布在盆地边缘斜坡、凸起边缘、低凸起之上或凹陷中断裂背斜带的浅部。据逐步回归分析, 重质油的密度参数主要受沥青质含量的影响, 粘度主要受非烃含量的影响。陆相重质油具有非烃含量高、粘度值高的特点。

1. 元素组成

重质油由于细菌生物降解作用的结果, 氧、硫、氮等元素含量高, 硫元素含量一般 0.4%—1.0% 以上, 氮元素含量一般在 0.7%—1.2% 以上。与海相重质油相比, 陆相重质油的含硫量低, 一般小于 0.6%, 而氮元素含量略高。生物降解作用愈强, 原油中硫、氮元素含量增大。

2. 烷烃气相色谱特征与生物标记化合物

在重质油饱和烃中, 异构烷烃和环烷烃, 尤其是环烷烃, 相对富集。随着水洗和生物降解等因素作用的增强, 正构烷烃首先被消耗, 其次为异构烷烃和环烷烃(图 2)。遭受强度稠变时, 甾萜化合物组成与分布将产生明显变化, 出现一些新的化合物。正常甾烷已遭明显破坏, 重排甾烷和孕甾丰度却显著增加。同时, 正常藿烷系列的丰度也明显降低, 出现有 25-降

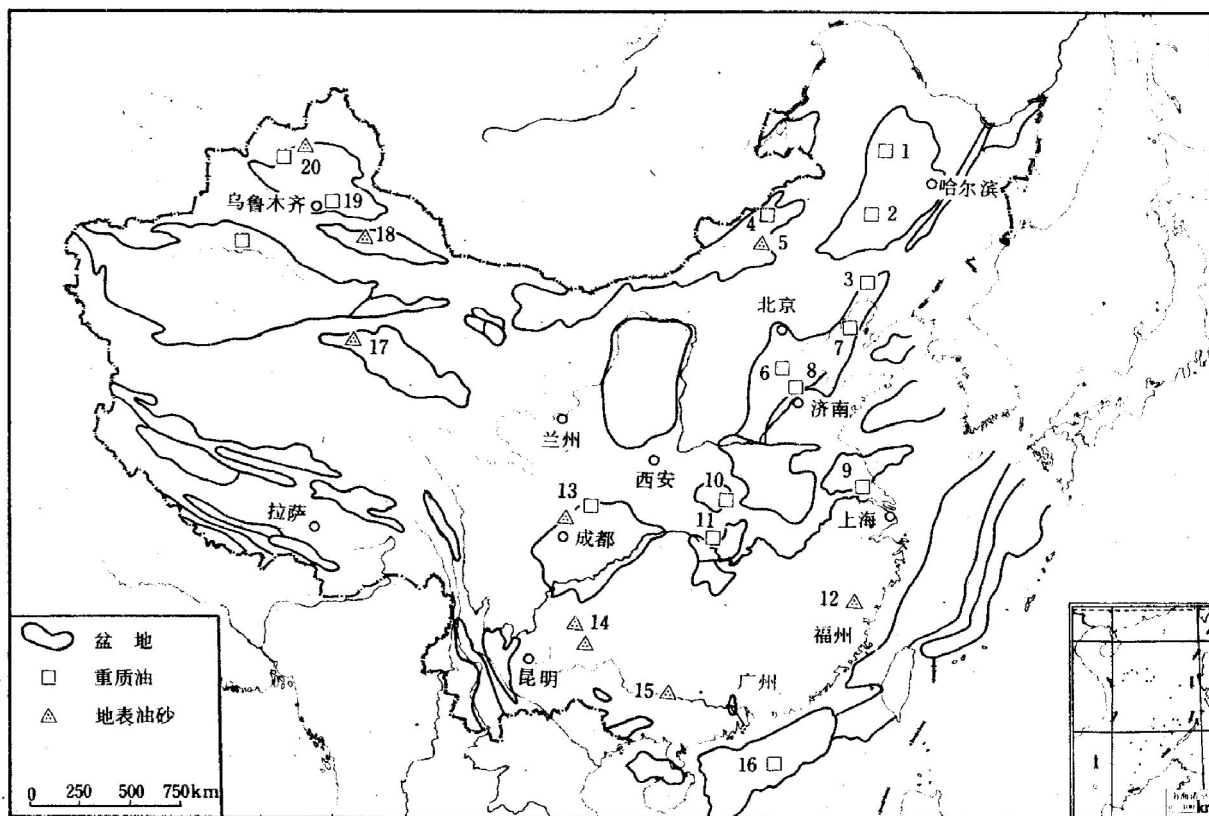


图1 中国重油沥青资源分布

1—富拉尔基, 2—白城, 3—辽河, 4—包楞蒙古林, 5—吉尔嘎郎图, 6—大港, 7—绥中 36-1, 8—胜利, 9—黄珏, 10—泌阳, 11—潜江, 12—浙西, 13—龙门山, 14—贵州, 15—广西, 16—流花 11-1, 17—柴达木, 18—七克台, 19—阜康, 20—克拉玛依, 21—塔北

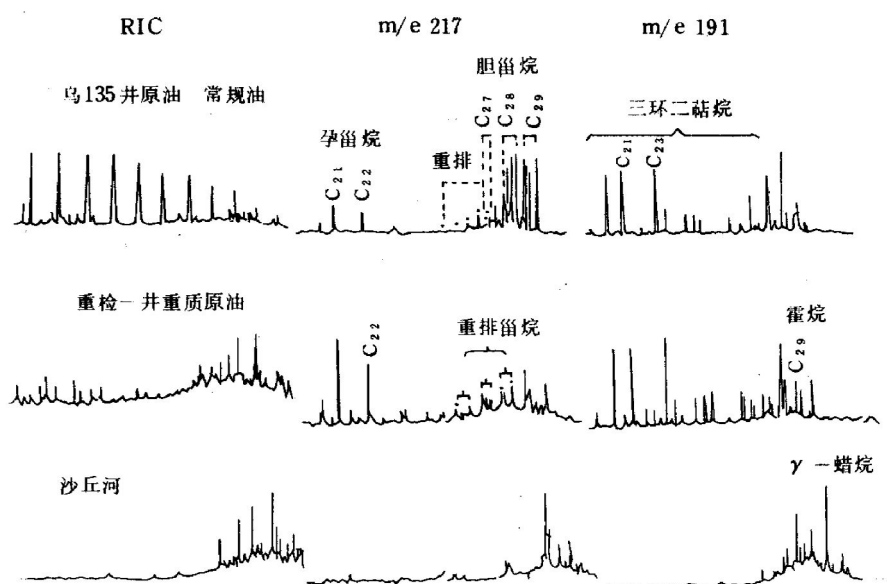


图2 遭受不同程度生物降解原油的地化特征

(据黄第藩, 1985)

藿烷系列化合物。但是,三环二萜烷、四环萜烷和 γ -蜡烷却表现为更强的抗生物降解能力,随生物降解能力增强,其相对丰度增大^[2]。

3. 多环芳烃的组成和分布特征

对辽河西部凹陷曙光油田不同稠变程度的原油样品分析表明,多环芳烃化合物抗生物降解能力的顺序是:三芳甾烷系列>蒾系列>菲系列>萘系列^[3]。

(1) 萘、菲系列

在生物降解等稠变因素作用下,萘系列的损失明显早于菲系列。根据烷基菲分布直方图(图3),从曙1-29-16井至曙1-31-152井,随着原油密度由0.8817变至>1.0000,即稠变作用的增强,由甲基菲分布值最大(38.47%),逐渐减少且过渡为三甲基菲和 C_4 -菲占主导地位,特别是 C_4 -菲,对生物降解显示最为稳定。由此可见,烷基菲系列当中抗生物降解能力随取代基团个数的增加而增强。

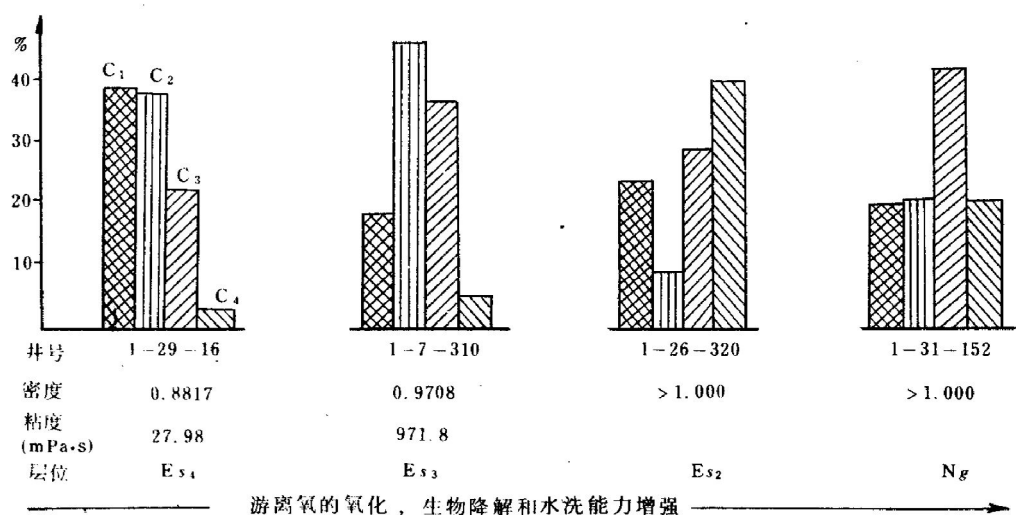


图3 曙光一区各层位原油烷基菲分布直方图

(据牛嘉玉, 1990)

(2) 蒾系列

蒾系列化合物比菲系列化合物多一个芳环,具有更强的抗生物降解、水洗和氧化的能力。这一结论,经过各井的(菲+烷基菲)/(蒾+甲基蒾)比值分析得到了证实,从曙1-29-16到曙1-31-152井,由12.6808变为3.8182。并且在蒾系列中,甲基蒾又显得更为稳定,如蒾/甲基蒾比值由曙1-29-16井的65.78变为曙1-31-152井的36.85。

(3) 三芳甾烷

在曙一区的四个油样中,三芳甾烷的分布指纹极为相近。例如,基峰为231的三芳甾烷($C_{26}+C_{27}$)/ C_{28} 比值均在1.1—1.3之间。这不仅反映了它们来自于同一油源;同时也反映了它们在较强烈生物降解作用下,三芳甾烷未受任何影响,显示出较强的稳定性(图4)。如(蒾+甲基蒾)/三芳甾烷(m/e 231)比值,由曙1-29-16井的0.4442变为曙1-31-152井的0.1910,即三芳甾烷的稳定性比蒾系列还要好。

(4) 稳定碳同位素特征

经过对原油及其族组成碳同位素的分析,随生物降解和水洗作用增强,原油及族组成的碳同位素值 $\delta^{13}C$ 均增大,即愈来愈富集重碳同位素。在常规原油中各族组分之间重碳同位素

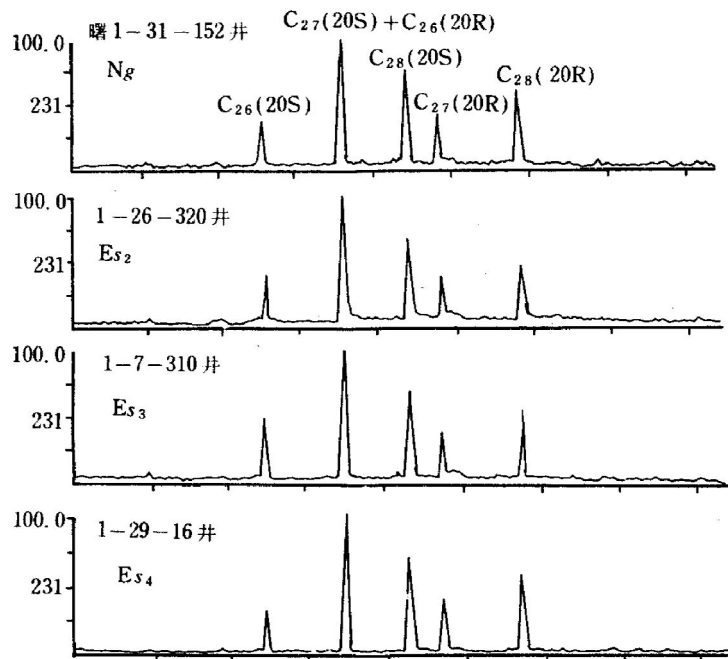


图4 曙光油田一区 Es_4 - Ng 各层位原油三芳甾烷 (m/e 231) 分布特征

富集的先后顺序是沥青质>非烃>芳烃>饱和烃,而重质油中各族组分之间重碳同位素富集的顺序变为非烃>沥青质>芳烃>饱和烃。并且,各族组分碳同位素值相应增高。

二、重油沥青的形成与演化机制

石油进入储层之后的整个稠变过程,实质上是一个由深层向浅层,由与地表水不连通的系统到与地表水连通系统周期性运移的过程。这一过程表现为运移、聚集、再运移、再聚集……。石油随之变得愈来愈重、愈稠。甚至最终成为固体沥青。稠变作用也由此分为运移期和油藏形成期两个阶段,无论在运移阶段,还是在油藏阶段,其主要的稠

变作用因素是水洗作用、生物降解作用和游离氧化作用。而且,水洗作用和生物降解作用几乎总是同时发生,两者较难区别。因为细菌的出现与生存往往依赖于流动地层水来提供必要的条件。

原油成熟度对重质油的稠变有着一定的影响,具有各自的特色,特别是在原油常规物性变化方面较为明显。在未遭受任何稠变时,低成熟原油密度 0.8—0.89,粘度(50°C) 25—80 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,而成熟原油小于 0.85,粘度小于 10 $\text{mPa}\cdot\text{s}$,这表明低成熟油比成熟油重而稠;在密度相同条件下,低成熟油的粘度比成熟的重质油的高,这与低成熟油中非烃含量高有关^[4]。从原油稠变图(图5)可以看出,成熟的和低成熟的常规油均沿各自回归线(平均稠变途径)发生稠变,两条回归线的截距不同则与成熟度有关,随着原油成熟度降低,相应的截距增大。由于低成熟油生成时,其油质相对重而稠,只需经轻微稠变,即可成为重质油;而成熟油生成时,油质轻而稀,需经大幅度的稠变,才能成为重质油。

随原油密度的增加,油滴在储集岩颗粒间所受的重力与浮力而产生的合力减小;同时石油组分中的多环、稠环化合物等非极性物质的增加,使油水表面张力增大,油滴更难通过孔隙喉道。即高粘重质油比常规油更易于聚集,这就是常常被称之为的“沥青自身封堵性”。这一特性,在各种地层、岩性和构造等因素的配合下,可形成多种多样的重质油藏。

三、中国重质油藏的形成、分布与远景

1. 重质油藏的形成大多是新构造运动(第三纪-第四纪)的产物^[5]

(1)已形成的含油气盆地和油气藏在盆地后期的正上升活动,特别是新生代的构造活动,导致古油藏再次运移、聚集和接近地表,发生不同程度的原油生物降解和氧化过程,形成重

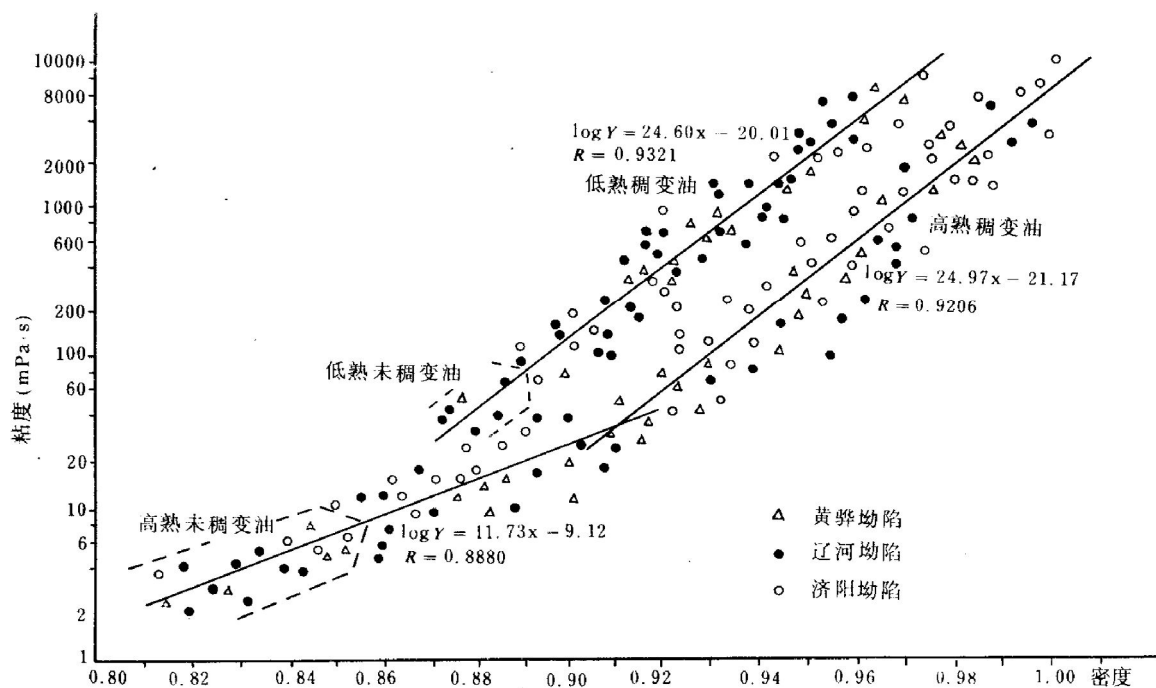


图5 渤海湾盆地石油稠变图

(据牛嘉玉, 1988)

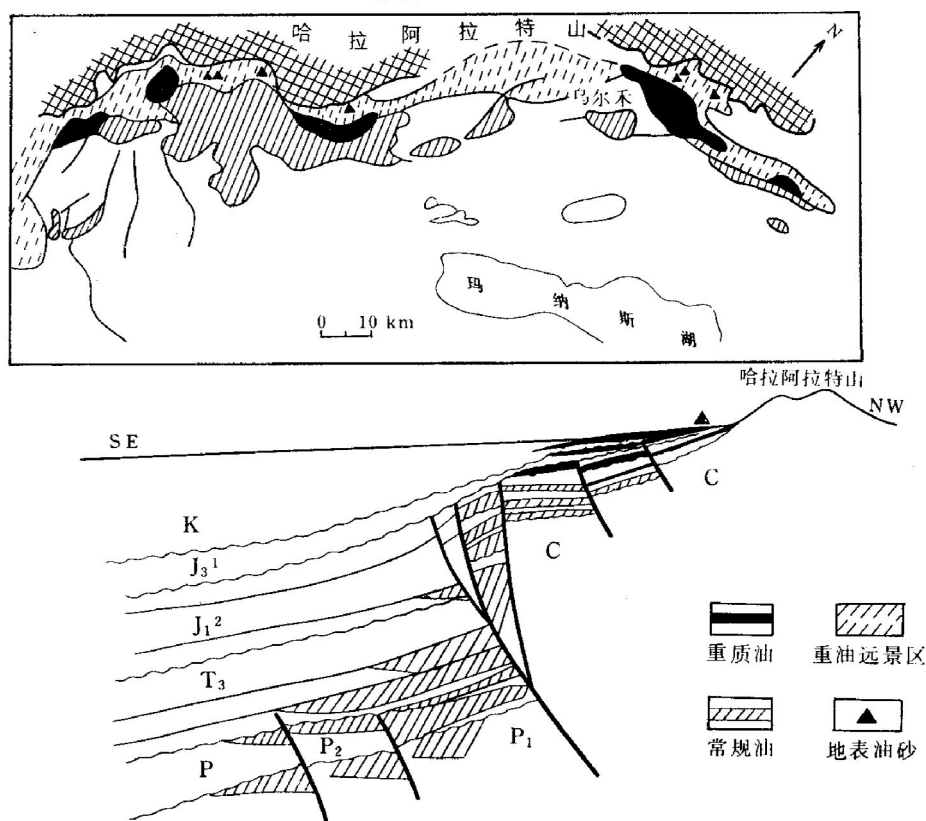


图6 准噶尔盆地西北缘常规油与重质油分布特征

质油藏、沥青或地面油砂。中国大陆西部中新世时受印度板块强烈挤压碰撞,发生区域性抬升,围绕克拉通古盆地边缘形成褶皱山系,油气经历了广泛的横向运移,遭到相当程度的逸散和破坏;同时,也形成了许多规模不等的沥青封闭重质油藏或油砂。如准噶尔盆地为一大型早海西

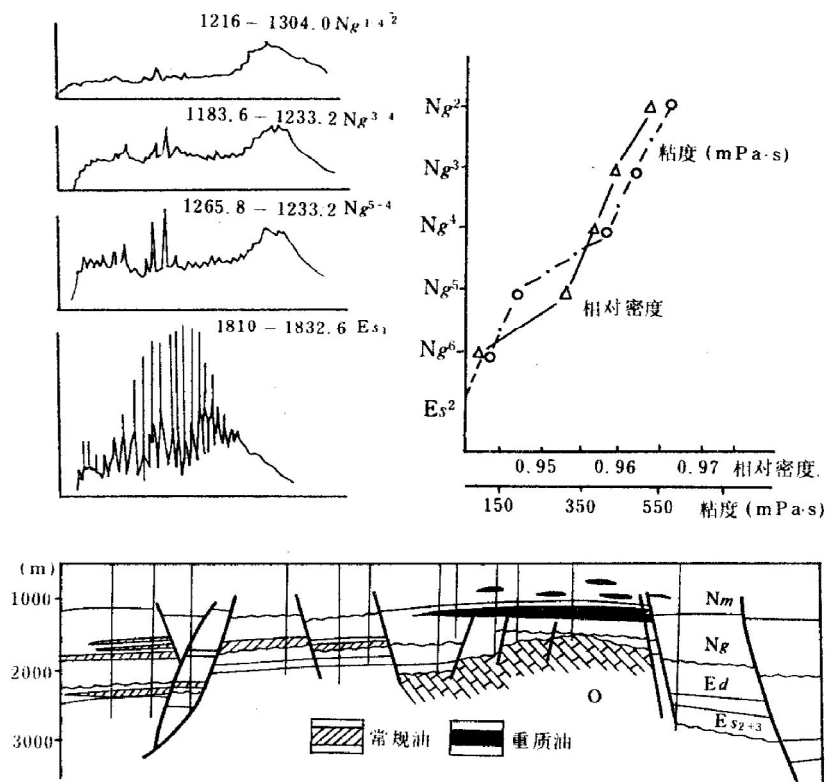


图7 孤岛油田重质油藏成因分析图

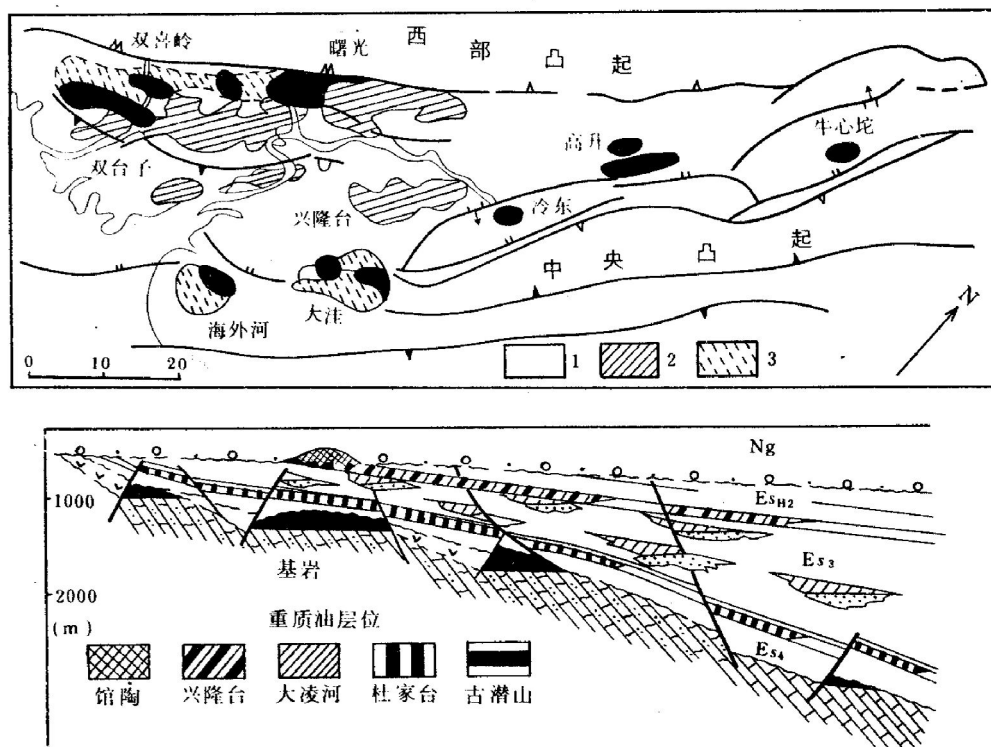


图8 辽河西部凹陷重质油与常规油分布特征

运动末形成的复合叠加盆地,晚二叠世开始形成以湖相为主的沉积阶段,厚度可达2000—4000 m,成为重要的生油岩系,三叠系为区域性大面积超覆沉积,碎屑岩厚度约2000 m,也具

有良好的生油条件,二叠-三叠系湖盆西北边缘的大型冲积砂砾岩体,直接深入镶嵌于巨厚的生油岩体中。在侏罗-白垩纪,盆地仍持续稳定下沉,石油演化成熟,并开始运移聚集,形成区域性的地层超覆封闭油藏。喜山期在盆地整体上升过程中,早期逆掩大断裂进一步活动,在西北缘这种上升趋势一直延续到第四纪,使侏罗-白垩系遭到剥蚀,同时使已形成的古油藏具有一定程度的开启,形成边缘广泛的沥青分布,包括沥青湖、沥青脉和油砂,沥青封闭较好的地区形成重质油藏(图6)。重质油藏的封闭除沥青封堵外主要为地层超覆不整合因素。油层埋深大多小于600 m,油层温度16—27℃。原油大部分遭到中度稠变,接近地表者遭受严重生物降解和氧化,二环倍半萜、正常甾烷和藿烷已受到明显的消耗^[6]。

在中国西部除准噶尔盆地外,柴达木、吐鲁番和四川盆地在新构造活动中都形成和分布不同程度和规模的沥青、油砂和重油。

(2)中国东部张性拉伸断裂形成的裂谷含油气盆地,在新构造活动(Ng-Q)中以正断裂为主,已聚集的原油沿断裂再次发生运移、重新分配与聚集,形成新的油藏,按形成的次序和过程,原油的生物降解深度和氧化程度呈有规律的变化。例如孤岛油田为一隆起,在老第三纪末块断隆起进一步活动升起,老第三系受不同程度剥蚀,直至顶部全部缺失,由新第三系超覆,形成浅层披覆构造;从隆起倾没部分的古油藏沿断裂再次运移聚集,分别依次在老第三系上部、新第三系各个层段形成次生油气藏。原油从下部到上部层系的生物降解和氧化程度逐渐加强,直至形成新第三系的重质油藏(图7)

这一类沿断裂次生形成的重质油藏,在渤海湾盆地各凹陷普遍分布,探明的重质油资源占总石油资源的30%—50%。

2. 重质原油与常规石油有共生和过渡的关系

中国东部大部分断陷都具有良好的生油中心,沿生油中心内缘分布的圈闭多形成常规油田,具原生性质。而向外缘的运移过程中,发生明显的原油生物降解、水洗和游离氧的氧化,原油迅速稠变向重油演化,在盆地边缘形成重油区带。在部分断陷(或凹陷)重油与常规油的资源比例是4:6。而有些断陷可达到6:4,例如辽河西部凹陷(图8)和东营凹陷等(图9)。

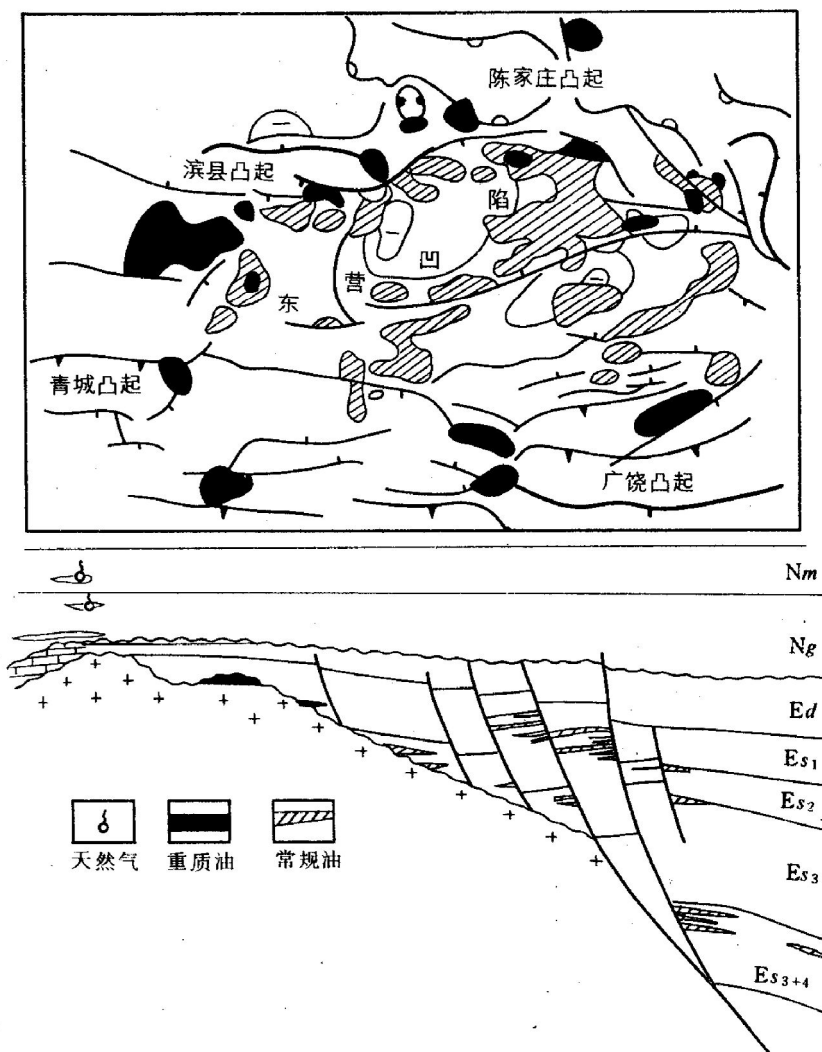


图9 东营凹陷重质油与常规油分布特征

3. 部分重油来自未成熟原油

这一类重油在中国东部各个含油气盆地均有发现,虽然生油岩尚未进入生油门限,但是生物化学作用产生的液体烃类,特别是有机质丰度很高的未成熟生油岩,在压实和排液过程中会有一定数量未成熟石油的产生,沥青和非烃含量较高,正构烷烃 *CPI* 值大于 1.3,原油密度可达 0.935 以上。

总之,中国含油气区虽然不具备形成巨型重油沥青区带的地质条件,如像加拿大阿尔伯特盆地、委内瑞拉马图林盆地那样,但是中国大部分含油气盆地重质油多与常规石油有共生和规律过渡分布的特点,重油资源非常丰富,占总石油资源的 25%—30% 以上。

参 考 文 献

- 1 胡见义,黄第藩等. 中国陆相石油地质理论基础. 北京,石油工业出版社,1992
- 2 Hu Jianyi, Xu Shubao. Geological and Geochemical Studies of Heavy Oil Reservoirs in China. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1989, 8(4), 331—344.
- 3 牛嘉玉等. 辽河西部凹陷重油聚集条件与原油稠变特征. *石油学报*, 1990, 11(4), 17—24
- 4 牛嘉玉,童晓光,胡见义. 渤海湾地区重质油藏的形成与分布, *石油勘探与开发*, 1988, 15(6), 1—11
- 5 胡见义. 重油资源的巨大潜力. *石油勘探与开发*, 1988, 15(1), 61—65
- 6 张大江等. 克拉玛依原油的生物降解, *石油勘探与开发*, 1987, 14(4), 11—19

FORMATION AND DISTRIBUTION OF HEAVY OIL BITUMEN RESOURCES IN CHINA

Hu Jianyi Niu Jiayu

(*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)

Abstract

Heavy oil in China is characterized by terrestrial genesis; low content of sulfur, trace elements and saturated hydrocarbon. Serious thickening resulted by biodegradation, water-washing and free oxygen oxidization not only has effect on sterane and terpane com-

and the reserves are abundant. They play an important part in China's oil resources.