

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.03.005

引用格式:李海庆. 中国东部地区古近系油页岩矿床地质特征及找矿思路:以黄口凹陷为例[J]. 华东地质, 2019, 40(3): 199-205.

# 中国东部地区古近系油页岩矿床地质特征 及找矿思路:以黄口凹陷为例

李海庆

(江苏长江地质勘查院, 南京 210047)

**摘要:**油页岩属于非常规油气资源,以资源丰富和可开发利用被列为重要的接替能源。以黄口凹陷为例,论述中国东部地区古近系典型凹陷的油页岩分布特征,探讨该区下一步找矿思路。中国东部地区典型凹陷的油页岩赋存于古近纪始新世—渐新世大汶口组中段下亚段和下段上亚段,为深灰色—黑色富有机质块状页岩,纹泥状韵律层发育。油页岩沉积稳定、分布广泛、横向连续性好、品位中低、构造简单,且地球物理特征显著。该区下一步找矿思路为“油(页岩)盐共探”和“物探先行、钻探验证”。

**关键词:**东部地区;古近系;油页岩;地质特征;找矿思路

**中图分类号:**P618.12

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2019)03-199-07

油页岩是一种高灰分的固体可燃有机矿产,通过低温蒸馏加工可获取类似于天然石油的页岩油,属于非常规油气资源。油页岩的资源量较丰富且储量分布相对集中,具有作为接替能源的巨大潜力和优势。我国油页岩预测资源量为7 199.37亿t,折合页岩油476.44亿t,其中已探明油页岩资源量为500.49亿t,位居世界第4位,且85%以上的油页岩分布在吉林省、辽宁省和广东省<sup>[1]</sup>。20世纪70年代,在我国东部苏南和苏北地区古近系陆续发现了油页岩<sup>[2]</sup>;1975—1976年,在江苏金坛古近系阜宁群上部发现油页岩,厚度为0.30~26.71m,埋深为260m以浅,含油率达7%<sup>[3]</sup>;在安徽砀山北部、江苏丰县宋楼镇地区黄口凹陷后黄楼洼凹和古近系大汶口组下亚段岩盐层之上100~300m均发现厚度较大的油页岩<sup>[4]</sup>,其中丰县宋楼镇ZK01孔钻遇的油页岩厚度达63m,平均含油率4.3%,预测资源量可观<sup>[5]</sup>。此外,华北地区和鲁西南地区钻探资料<sup>[6]</sup>表明,古近纪大汶口组(沙河街组)油页岩和岩盐常伴生或共生。

中国东部地区广泛分布的新生代小型拗陷盆地,

与黄口凹陷后黄楼洼凹具有相似的构造背景、沉积环境、古气候和古植物演化等油页岩成矿地质条件,油页岩资源潜力较大。但是,以往只注重勘查开发盆地内的油气和岩盐,忽视了对油页岩的进一步研究,导致中国东部地区新生代拗陷盆地探明的油页岩资源储量较小。为此,本文以黄口凹陷为例,探讨区域“油(页岩)盐共探”和“物探先行、钻探验证”的找矿思路,进一步推进中国东部地区油页岩资源勘探实现突破。

## 1 地质特征

黄口凹陷位于南华北盆地北缘,是济源—开封拗陷带次级构造单元,地处豫、苏、皖、鲁四省交界处,为一近EW向展布的中新生代断陷盆地,面积3 200 km<sup>2</sup>。自东向西,黄口凹陷可划分为黄口次凹、虞城次凸和商丘次凹3个次级单元。黄口次凹为北陡南缓的箕状盆地<sup>[7]</sup>,东起峰山断裂,西至于贤集断层,北至丰沛断裂,南至砀山—郝集斜坡。根据古近系断陷格局和沉积特征,自东向西可进一步划分为敬安洼凹和后黄楼洼凹(图1)。

\* 收稿日期:2018-07-08 修订日期:2018-12-13 责任编辑:谭桂丽

基金项目:江苏省地质勘查基金“江苏省丰县宋楼镇油页岩(石盐)预查(编号:苏财建[2016]140号)”项目资助。

作者简介:李海庆,1963年生,男,高级工程师,主要从事矿产地质及矿业开发研究工作。

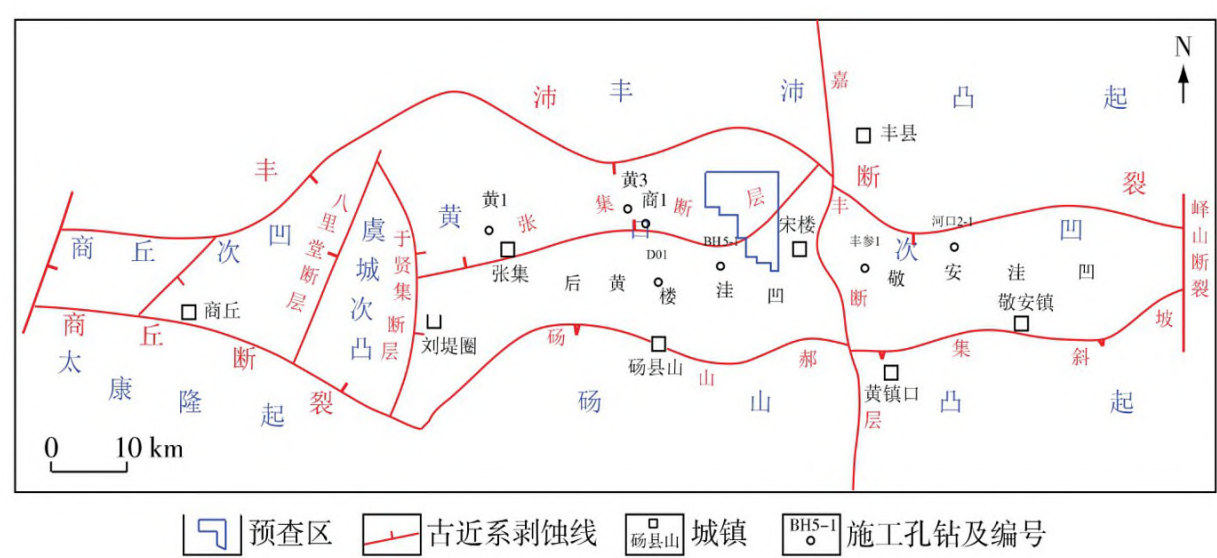


图 1 黄口凹陷区构造简图<sup>[5]</sup>

Fig. 1 Schematic tectonic map of the Huangkou depression<sup>[5]</sup>

1.1 地层

该区钻探揭露的地层主要为新生界古近系、新近系(表 1)和第四系,整体为一单斜,走向 NW,倾向 SW,局部发育次级褶曲。地层倾角较小,一般为

1°~4°。古近纪大汶口组为一套湖相碎屑岩—蒸发岩建造,为赋油页岩和岩盐地层。下伏地层为古近纪官庄组,上覆地层为新近系及第四系。大汶口组划分为上、中、下三段五亚段。

表 1 区域新近系和古近系对比<sup>[5]</sup>

Table 1 Comparison of the Neogene and Paleogene strata in the region<sup>[5]</sup>

| 系    | 统    | 鲁中地区 | 丰县北 | 丰县南、砀山北 | 苏北平原 | 苏南金坛 |
|------|------|------|-----|---------|------|------|
| 新近系  | 中上新统 |      | 丰县组 | 丰县组     | 盐城组  | 东台组  |
|      | 渐新统  |      |     |         | 三垛组  | 三垛组  |
| 古近系  | 始新统  | 大汶口组 | 官庄组 | 大汶口组    | 戴南组  | 阜宁群  |
|      |      | 上段   | 上段  |         |      |      |
|      |      | 中段   | 中段  | 官庄组     |      |      |
|      |      | 下段   | 下段  |         |      |      |
|      | 古新统  |      |     |         | 阜宁组  |      |
| 下伏地层 |      |      |     |         | 泰州组  |      |

(1)大汶口组下段。厚 410.04 m,分为下亚段和上亚段。

下亚段:下部厚 10 m,灰色、深灰色含膏泥岩、膏质泥岩与紫红色泥岩互层,局部见团块状和薄层状硬石膏;中部厚 110 m,灰色、深灰色含膏泥岩、膏质泥岩、紫红色泥岩与深灰色、灰白色石盐不等厚互层。该段含 5~10 层石盐,是该亚段最主要的标志层,第一层石盐和最后一层石盐是判断该亚段顶、底的主要依据;上部厚 60 m,灰色含膏泥岩、膏质泥岩与紫红色泥岩、粉砂岩互层,硬石膏呈薄层状、瘤状和团块状,具波状层理和水平层理。该段上部自上而下一般含 1~5 层硬石膏岩,是石膏下亚段顶部的重要标志。

上亚段:厚 230.04 m,灰色含膏泥岩、膏质泥岩与紫红色、灰色、灰绿色泥岩、粉砂岩互层,硬石膏呈薄层状、瘤状和团块状,局部夹 1 层油页岩。

(2)大汶口组中段。厚 290.99 m,分为下亚段和上亚段。

下亚段:厚 170.99 m,灰色、深灰色含膏泥岩、膏质泥岩,灰绿色、紫红色泥岩、粉砂岩、细砂岩与深灰色、灰色油页岩不等厚互层。硬石膏呈薄层状、块状,具水平层理、波状层理。该段含 5~12 层油页岩,是该亚段最主要的标志层。

上亚段:厚 120 m,灰色、深灰色含膏泥岩、膏质泥岩、灰色—灰绿色泥岩与深灰色—灰白色石盐不等厚互层。该段含 1~8 层石盐。

(3)大汶口组上段。厚 149.93 m。灰色、浅灰色泥岩、砂质泥岩与粉砂岩、砂岩互层,夹灰色、深灰色含膏泥岩、膏质泥岩。该亚段自下而上砂岩含量增加,发育平行层理,钙质含量较高,遇酸起泡,局部含泥岩包体。泥岩和粉砂岩中多见介形虫化石。



油页岩矿层赋存于大汶口组中段下亚段和下段上亚段,多为深灰色—黑色块状页岩,具波状层理和水平层理,贝壳断口和平坦断口,见底栖动物通道及介形虫化石。

1.2 构造

研究区构造主要受 EW 向丰沛断裂、殒山—郝集斜坡(敬安断裂)、NNE 向峰山断裂、近 SN 向嘉丰断层和于贤集断层控制,表现为 NNE 向断裂改造早期的 EW 向断裂,形成北深南浅的箕状断陷,盆地沉降和沉积中心偏于北侧<sup>[7]</sup>。

丰沛断裂是近 EW 向具有继承性活动的区域性基底断裂,是黄口凹陷的主控断层,控制了古近纪官庄组和大汶口组的分布及岩盐、油页岩的赋存,为凹陷北界,断裂倾向南,倾角 60°~70°,下盘为新太古代泰山岩群,断层最大落差约 6 000 m。

殒山—郝集斜坡(敬安断裂)形成于燕山运动晚期,控制侏罗系和白垩系断裂的展布,对古近系具有一定影响。该断裂为凹陷南界,走向近东西,倾向北,倾角约 75°,下盘盖层基岩为二叠系和三叠系,断层落差>1 000 m。

嘉丰断层形成于喜山期,至今仍在活动,切割

该区大部分古近系,将黄口次凹分割为敬安洼凹和后黄楼洼凹。该断裂走向近南北,具平移特征,故断层不同位置的落差多变,断层倾角多为 80°左右。

1.3 岩浆岩

根据研究区及邻近地区钻孔地质资料<sup>[5]</sup>,古近系油页岩中未见岩浆岩。

2 地球物理特征

2.1 油页岩地球物理测井响应

油页岩含有密度低和吸附性强的固体有机质,因此,油页岩矿层测井响应表现为“三高一低”的特征,即高自然伽玛、高电阻率、高声波时差(图 2,由于钻探施工时“油(页岩)盐共探”,泥浆为饱和盐水泥浆,故电阻率受卤水影响较大,测试幅值不高)和低密度,且有机质含量越高,岩层在测井曲线上“三高一低”特征越明显<sup>[8]</sup>。研究区油页岩自然伽玛曲线值为 90~2 400 API,平均值为 165 API;地层电阻率曲线值为 100~300 Ω·m,平均值为 200 Ω·m;声波时差曲线值一般为 260~350 μs/m,平均值为 300 μs/m,表明油页岩测井响应明显,易于识别。

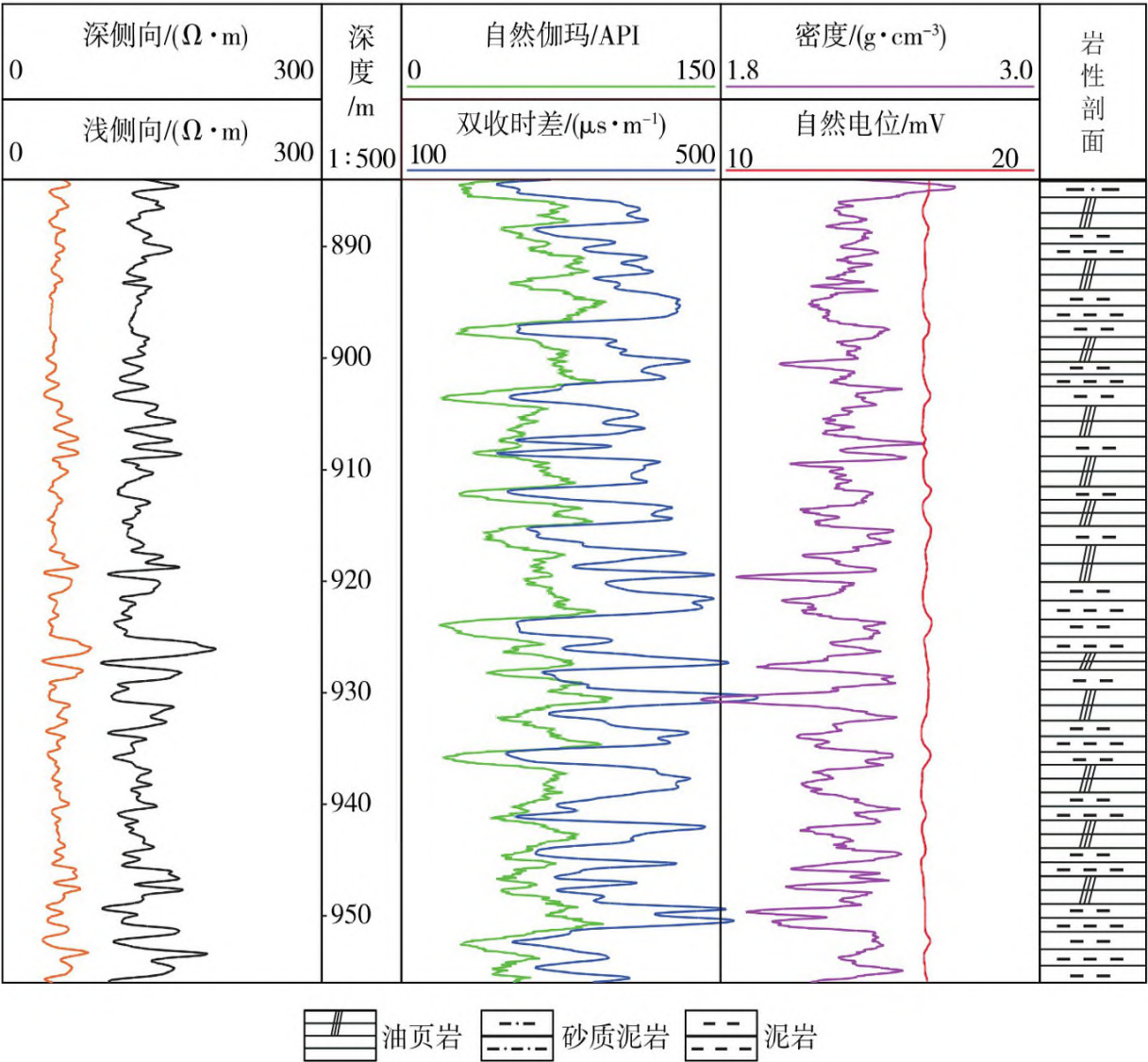


图 2 油页岩段测井响应特征<sup>[5]</sup>

Fig. 2 Log response characteristics of oil shale section<sup>[5]</sup>

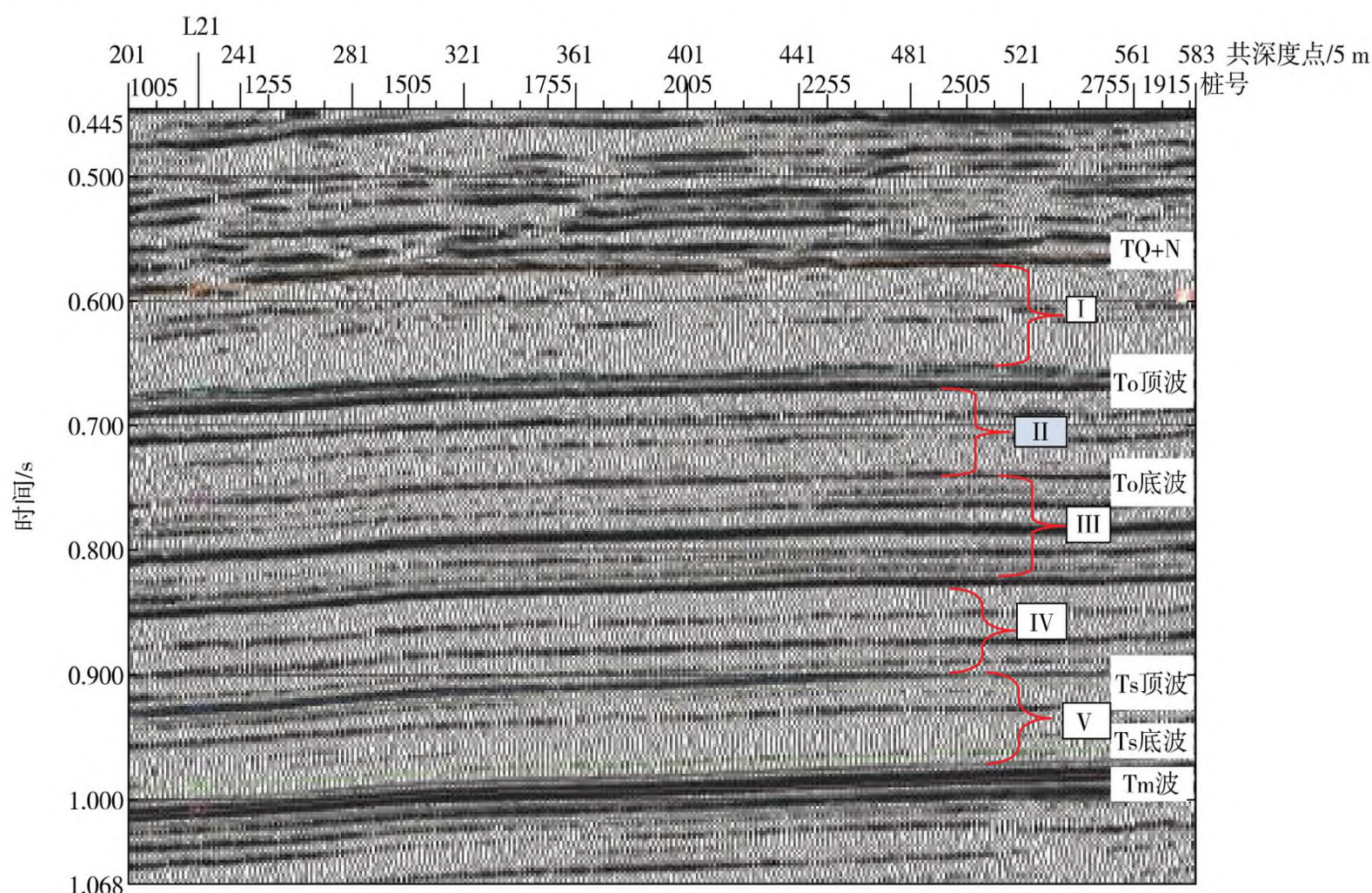


## 2.2 油页岩地震响应

由研究区典型地震反射波组时间剖面图(图3)可知,新近系松散冲积层与下伏古近系泥岩存在较大差异<sup>[9]</sup>,可获得能量较强的 $T_{Q+N}$ 反射波,全区易于识别和追踪。油页岩段第一层油页岩与上覆泥岩之间存在较大的波阻抗差异,所以,油页岩段顶界面可形成能量较强的 $T_{O顶}$ 反射波,油页岩段内部(Ⅱ)仅发育2~3组能量较弱的反射波组。油页岩段底部油页岩具有一定厚度时,可与下伏含膏泥岩

之间形成较大的波阻抗差异,所以油页岩段底界面可形成能量较强的 $T_{O底}$ 反射波。第一层含泥石盐与上覆较厚的含膏泥岩之间存在较大的波阻抗差异,所以,岩盐段顶界面可形成能量较强的 $T_{S顶}$ 反射波。岩盐段下部一层泥岩,厚度 $>42.65\text{ m}$ ,可与上覆含膏泥岩形成能量强、连续性好的 $T_m$ 反射波。

综上,研究区浅、中层地震地质条件较好,反射波能量较强、连续性较好,为油页岩地震勘探方法的应用奠定了基础。





燃烧,火焰长约1~2 cm,通常呈红色,烟浓黑并有较强的沥青味。含油率较高的油页岩具黯淡光泽、油脂光泽或沥青光泽,擦痕为棕色。

油页岩由矿物质和有机质组成。油母含量为3%~9%,是复杂的高分子有机化合物,具脂肪烃结构和芳烃结构。主要组成元素为碳和氢,以及少量氧、氮和硫,水分为4%~7%。矿物质主要为伊利石、伊蒙混层、绿泥石和高岭石等硬质黏土类硅酸盐矿物及石英,占总含量的85%以上。长石、云母、方解石和硫铁矿也较常见,因此油页岩具有高灰分的特征。

矿石构造主要为致密块状构造、水平层纹(页理)构造,韵律结构或泥状结构。

油页岩化学组分3.00%~6.52%的页岩油是有用和有益组分,其他化学成分为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 和 $\text{TiO}_2$ ,少量其他金属氧化物可综合利用。其他有益组分As、Ge、Ga、U含量低,无利用价值。

### 3.3 油页岩类型和品级

研究区油页岩矿层干燥基低位发热量为1.10~3.88 MJ/kg,含油率为3.04%~6.52%,半焦产率为86.88%~92.99%,含气率为1.75%~4.98%,相对视密度为1.98~2.23 g/cm<sup>3</sup>。由于相对视密度较大,影响油页岩的含油率,不能成为高品级油页岩。该区油页岩是一种低发热量、高灰分、挥发分含量不高、密度较大、水分含量较高、半焦含量高的中硫、中低品级油页岩。

油页岩最大热解峰值温度 $T_{\max}$ 为419.1~436.8℃,IH含量为504~699。因此,区内油页岩有机质主要为腐泥型(I);油页岩TOC含量中等,质量分数为1.96~3.97,(S1+S2)含量为14.89~27.76,有机质丰度高。上述特征表明,生油岩类型为好或很好的生油岩,处于未成熟—低成熟阶段,显示良好的油页岩成矿基础条件<sup>[10]</sup>。

## 4 矿床成因

研究区油页岩纹泥状韵律层发育。虽然微细层理难以肉眼辨认,但经X光透射后显示清晰的纹理。微细韵律层系主要由深黑色富含有机质的泥岩和浅灰黑色富钙的泥岩组成。通过薄片观察,单个韵律层厚度一般为0.05~0.20 mm。暗色富有机质层,岩性单一,通常富含藻类等浮游生物残体,

主要成分是发强黄色荧光的层状藻、结构藻和藻类成因的荧光沥青,呈连续水平状,具有静水沉积特征;浅色富钙层含微晶方解石和少量石英、长石等陆源粉砂,常有水平状和微波状纹理,显示弱水流活动痕迹。韵律纹层中常有粒径1~3 μm的黄铁矿微晶呈点—线状断续分布。上述韵律层可印证区内油页岩沉积环境为较宁静的咸水—半咸水深水湖泊相环境,并具有水体明显分层、水化学条件和物源供给的周期性波动特征<sup>[11]</sup>。

油页岩富集主要受古气候、沉积环境和古构造条件控制。古气候变化控制了有机质的生产力,古构造和沉积相控制了油页岩平面展布特征、沉积厚度和含油率<sup>[12]</sup>。黄口断陷盆地最早形成于燕山期,是在遭剥蚀夷平后,经喜山期构造运动改造而形成的内陆盆地<sup>[7]</sup>。官庄组下段沉积期,以差异升降运动为主,盆地及周边地形差异较大,主要是碎屑物沉积;官庄组上段沉积期,盆地由河流相逐渐过渡为含膏沉积的咸水、半咸水浅水湖泊相环境。大汶口组下段沉积期,古气候逐渐以干旱为主,盆地内水体盐度进一步升高,出现盐类化学沉积。随着湖盆中心卤水逐渐浓缩,最终形成了湖盆中心高咸阶段的蒸发相—盐相和湖盆周边低咸阶段的蒸发相—硫酸盐相。大汶口组下段后期至大汶口组中段下亚段沉积期,盆地沉降速率逐渐变大并超过沉积物供应速率,湖泊进入面积加大、水体范围增加时期,形成长期非补偿的饥饿型盆地<sup>[13]</sup>。黄口凹陷次一级后黄楼洼凹位于盆地中心外围深湖—半深湖沉积环境,在温暖、湿润的气候条件下,盆地覆水较深,陆源碎屑相对较少,陆地植物繁盛,为湖泊提供了大量陆生营养物质,有利于藻类、介形虫等浮游生物的爆发性繁殖,成为生烃质的主要来源,为油页岩的形成提供丰富的物质基础,沉积了分布广泛、单层厚度及总厚度较大、品质较好的油页岩地层。大汶口组中段上亚段沉积期,盆地沉降速率变小且小于沉积物供应速率,湖泊面积减少,古气候逐渐演变为以干旱为主,水体盐度逐渐升高,出现新一轮的盐类沉积旋回<sup>[5]</sup>。

## 5 找矿思路

中国东部地区新生代凹陷分布广泛<sup>[13]</sup>,如山东黄县盆地<sup>[14]</sup>、鲁西南大汶口盆地(汶口凹陷、汶东凹陷、蒙阴凹陷及泰莱凹陷)<sup>[15]</sup>、江苏丰县师砬盆地、

沛县敬安洼凹、江苏金坛直溪凹陷,以及江西鄱阳、吉泰、赣州、信丰等 30 多个盆地<sup>[16]</sup>,它们具有与黄口凹陷后黄楼洼凹相似的油页岩成矿地质背景,油页岩资源潜力较大。但由于以往只注重勘查开发古近系油气和岩盐,对油页岩研究不够,探明的油页岩资源量较少。基于黄口凹陷后黄楼洼凹古近系油页岩的矿床地质特征及勘查经验,建议在我国东部地区新生代盆地探索古近系油页岩勘查“油(页岩)盐共探”的思路。

以“油(页岩)盐共探”、“先地面后地下,先物探后钻探,由浅入深,由已知到未知”为基本原则,收集并综合研究中国东部地区新生代盆地地质、钻探和物探资料,与黄口凹陷后黄楼洼凹古近纪大汶口组对比,研究相关盆地的地层、构造和沉积特征。优选油页岩重点工作靶区,先进行二维地震勘查,对区内地层特别是矿层赋存形态进行勘查,查明油页岩段顶、底界面,分布和变化规律。在此基础上,分步实施钻探验证,结合地球物理测井和实验测试,对靶区内油页岩、岩盐矿产资源进行综合评价,估算资源量。

需要指出的是,过去油页岩开采主要是传统的地面干馏工艺。由于我国油页岩平均含油率仅为 5%~10%,将产生超过 90%的废渣。废气、废水和废渣对环境造成影响,从而影响油页岩的勘查开发。近些年,国外壳牌公司的电加热原位开采技术相对成熟,通过多种方法加热油页岩层,使油页岩在地下裂解,生产出油页岩油,并传输至地面。相对于传统地面干馏,具有对环境污染少、耗水量少、品质好和可开采较深层油页岩等优势。我国油页岩原位转化技术也取得了突破性进展,在油页岩勘探开发特别是勘查阶段,要坚持“绿色勘查”理念,制定相应预案,加强环境保护。

## 6 结 论

(1)中国东部地区新生代盆地分布广泛,古近系普遍具有与黄口凹陷后黄楼洼凹相似的油页岩成矿地质背景,油页岩资源潜力较大。

(2)加大油页岩勘查力度,按照“油(页岩)盐共探”、“物探先行、钻探验证”找矿思路,实现东部地区油页岩资源量重大突破。

## 参考文献

- [1] 刘招君,董清水,叶松青,等. 中国油页岩资源现状[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006, 36(6):869-876.
- [2] 刘招君,柳蓉. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前缘,2005,12(3):315-323.
- [3] 江苏省煤田地质局勘探五队. 江苏省金坛宜兴地区找煤小结[R]. 镇江:江苏省煤田地质局勘探五队,1976: 2-19.
- [4] 江苏长江地质勘查院. 安徽省砀山县范集石盐预查报告[R]. 南京:江苏长江地质勘查院,2017:8-15.
- [5] 江苏长江地质勘查院. 江苏省丰县宋楼镇油页岩(石盐)预查报告[R]. 南京:江苏长江地质勘查院,2018: 25-45.
- [6] 何建国,马荣,刘玮. 江苏丰县刘王楼区油页岩成矿预测[J]. 能源技术与管理,2006,41(2):149-151.
- [7] 刘小平,刘太成,蒋礼宏,等. 南华北盆地黄口凹陷构造形成演化及油气勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2000,27(5):8-11.
- [8] 丁敏. 鄂尔多斯盆地志丹地区三叠系延长组长 7 油页岩资源评价[D]. 西安:西安石油大学,2012.
- [9] 赵牧华,石刚,张安徽,等. 安徽皖江地区页岩气地质调查地震勘探数据采集技术研究[J]. 华东地质,2017, 38(3):203-209.
- [10] 刘招君,孟庆涛,柳蓉,等. 中国陆相油页岩特征及成因类型[J]. 古地理学报,2009,11(1):105-114.
- [11] 苗建宇,赵建设,李文厚,等. 鄂尔多斯盆地南部烃源岩沉积环境研究[J]. 西北大学学报(自然科学版),2005, 35(6):771-776.
- [12] 郭巍,马琳,柳蓉,等. 中国东部含油页岩盆地油页岩特征、资源及富集规律[C]//中国油气论坛:非常规油气勘探开发技术专题研讨会,2011:29-32.
- [13] 董清水,王立贤,于文斌,等. 油页岩资源评价关键参数及其求取方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006, 36(6):899-903.
- [14] 刘莹,刘海燕,吕大炜,等. 黄县盆地古近系煤与油页岩共生组合类型及发育特征[J]. 中国煤炭地质,2014,26 (1):10-15.
- [15] 朱猛. 山东省大汶口盆地盐类矿床的地质成因探讨[J]. 山东国土资源,2015,31(1):27-30.
- [16] 杨明桂,王光辉,徐梅桂,等. 江西省及邻区滨太平洋构造活动的基本特征[J]. 华东地质,2016,37(1):10-18.



## Geological characteristics and prospecting idea of Paleogene oil shale deposits in eastern China: A case study of the Huangkou depression

LI Hai-qing

(*Jiangsu Changjiang Geological Survey Institute, Nanjing 210046, China*)

**Abstract:** Oil shale, an unconventional oil and gas resource, has been listed as a substitute for energy because of its abundant resources and exploitable utilization. Taking the Huangkou depression as an example, this paper analyzed the distribution characteristics of oil shale in the typical depression in eastern China to explore the methods of further prospecting for oil in this area. Oil shale in the typical depression of eastern China occurs in the middle and lower parts of the Dawenkou Formation of Eocene to Oligocene of Paleogene. Dark gray to black massive shale rich in organic matter is characterized by well development of muddy rhythmic layering, stable deposition, wide distribution, good continuity, low and medium grade, simple structure, and distinct geophysical anomaly. The further prospecting in the area is to investigate oil (shale) and salt together using geophysical prospecting followed by drilling verification.

**Key words:** eastern China; Paleogene; oil shale; geological characteristics; prospecting idea