

## 南堡凹陷石油地质条件、资源潜力 及勘探方向

王建伟, 杜景霞, 张永超, 王全利, 赵淑娥

中国石油冀东油田分公司勘探开发研究院

**摘要** 南堡凹陷是一个典型的富油气凹陷,近年来在多个勘探领域获得新发现,展现出良好的勘探前景。目前的勘探实践与盆地第三次资评结果之间的矛盾日益突出,难以有效指导勘探部署。通过南堡凹陷基本石油地质特征解剖和油气成藏条件分析,建立了不同勘探领域油气成藏模式,明确了油气富集规律。基于地质风险评价,优选评价方法,重新开展南堡凹陷资源量计算,明确了剩余资源分布及未来有利勘探领域。资源评价结果显示:南堡凹陷常规石油地质资源量为 $12.20 \times 10^8$  t,非常规石油地质资源量为 $2.19 \times 10^8$  t,剩余常规石油地质资源量为 $7.10 \times 10^8$  t。依据“深浅兼顾、油气并举”的原则评价,指出了高柳、南堡1号、南堡2号和老爷庙等4个构造带是未来重点石油勘探区带。

**关键词** 勘探方向;资源潜力;剩余资源;石油;南堡凹陷;渤海湾盆地

中图分类号: TE155

文献标识码: A

### 0 前言

南堡凹陷位于黄骅拗陷北部,是渤海湾盆地典型的富油凹陷之一。自第三次油气资源评价以来,南堡凹陷进入快速勘探阶段,中浅层(Nm-Ed)、深层潜山和中深层(Ed<sub>2</sub>-Es)岩性领域全面开花,页岩油、致密油非常规勘探领域初见苗头,油气储量、产量大幅增长<sup>[1-8]</sup>,具体表现在:①在中浅层领域,南堡陆地的高尚堡和老爷庙地区明化镇组(Nm)、馆陶组(Ng)持续获得储量发现,同时在南堡凹陷的滩海相继发现了南堡1-1区、南堡1-3区、南堡1-5区、南堡2-3区等一批中浅层高产富集区块;②在深层潜山领域,南堡1号构造Np1-80井、Np1-85井等钻井在奥陶系潜山不同程度获得工业油气流,展示了南堡油田潜山具有较好的成藏条件;③在中深层岩性领域,近年来岩性油藏探明储量占新发现储量的50%,Pg1井、Pg2井相继获得高产油气流,高北斜坡带岩性油气藏勘探获得持续发现,展现出巨大的勘探前景;④在非常规领域,非常规油气勘探初见端倪,Np3-20井和Np280井分别在致密砂岩储层段和含灰泥岩段获得油气产

能。上述一系列的勘探实践展示了南堡凹陷在多个勘探领域的潜力,而基于南堡陆地资料开展的第三次油气资评结果与勘探实践之间的矛盾日益明显,难以有效指导勘探部署,亟需开展陆地-滩海相兼顾、浅层-深层一体化、常规-非常规相统筹的更全面的油气资源评价。本文基于近年来油气勘探开发实践,以基础石油地质条件和油气分布规律为核心,开展南堡凹陷油气资源评价,明确剩余资源分布,落实有利勘探领域和勘探方向,为南堡凹陷下一步勘探部署及目标优选提供了科学依据。

### 1 石油地质条件

南堡凹陷为中生代裂谷型断陷盆地,在构造上属华北地台燕山分区的东南分区,北部以西南庄断层为边,东部以柏各庄断层为界,南以沙北断层与沙垒田凸起相邻,西以涧东断层与北塘凹陷相接,总体为一北陡南缓的箕状凹陷。根据南堡凹陷构造特征及主控断裂展布特征,将南堡凹陷内部划分为8个二级构造带和4个次凹(图1),总体呈现“四凹三凸、凸凹间互”的构造格局。

收稿日期: 2019-01-10; 改回日期: 2019-06-12; 网络发表日期: 2019-08-06

本文受国家科技重大专项“大型油气田和煤层气开发”下属专题“我国含油气盆地深层油气分布规律与资源评价”(编号: 2017ZX05008006-002-006)与中国石油集团重大专项“中国石油第四次资源评价”下属课题“冀东探区第四次油气资源评价”(编号: 2013E-0502-0404)联合资助

**第一作者:** 王建伟,高级工程师,从事石油地质研究工作。通信地址: 063004 河北省唐山市路北区 51 甲区冀东油田第一科研大楼; E-mail: wangjiw2007@petrochina.com.cn

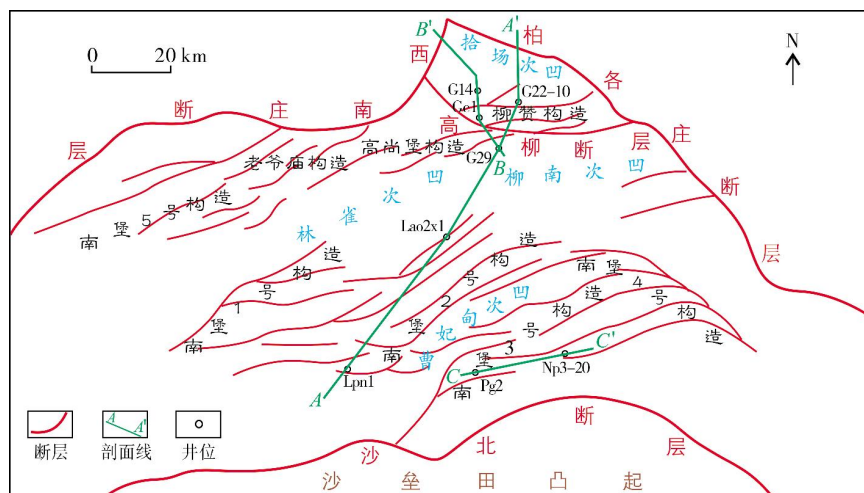


图1 南堡凹陷构造纲要图

南堡凹陷先后经历了燕山期和喜马拉雅期的4幕裂谷作用和1幕构造再活化作用。其中裂陷Ⅱ—Ⅲ幕分别形成了南堡凹陷沙河街组三段( $Es_3$ , 简称沙三段)、沙一段和东营组三段( $Ed_3$ , 简称东三段)等3套重要烃源岩层系,这3套烃源岩的有机质丰度高,热演化程度适中,为油气生成提供了充足的物质基础。晚期构造活化期,沉降速率快,断层活动性增强,这控制了油气的垂向输导和富集。目前已发现奥陶系、古近系的沙河街组和东营组、新近系的馆陶组和明化镇组等多套含油层系,探明石油资源量 $4.7 \times 10^8 t$ ,显示南堡凹陷是一个典型的“小而肥”的凹陷。

### 1.1 深层优质烃源岩发育,油源充足

南堡凹陷对油气藏有贡献的的烃源岩主要发育在沙三段3亚段( $Es_3^3$ )、沙三段4亚段( $Es_3^4$ )、沙三段5亚段( $Es_3^5$ ),其次为沙一段( $Es_1$ )和东三段。这3套烃源岩在空间上的分布具有纵向叠置、平面分区的特征。在高柳断层以南地区这3套烃源岩发育齐全且叠置明显,主要集中在林雀次凹、柳南次凹和曹妃甸次凹,构成3个生油中心,主力生油层为沙三段4+5亚段( $Es_3^{4+5}$ )和东三段,平均厚度为300~500m。在高柳断层以北地区,由于受古近纪晚期高柳断层活动强度加大的影响,造成其上升盘一侧的拾场次凹的东营组大部分缺失,仅存在部分东三段,其主力生油层为 $Es_3^{4+5}$ 半深湖相泥岩,平均厚度为150~300m。

$Es_1$ 与 $Ed_3$ 源岩属于中等—好烃源岩,其有机碳含量(TOC)较为接近,TOC平均值为1.26%。 $Es_3^3$ 、 $Es_3^4$ 、 $Es_3^5$ 烃源岩的TOC平均值都大于2%,属于优质烃源

岩。其中 $Es_3^4$ 是南堡凹陷新发现的最重要的优质烃源岩<sup>[9-10]</sup>,它主要由深湖相的灰色、深灰色、灰黑色泥岩、钙质泥岩和油页岩组成,夹有薄层砂岩;由岩心观察发现, $Es_3^4$ 的泥岩和油页岩颜色较深,且质量轻、富含油,颜色酷似巧克力,有机质丰度高,TOC多数在2%~5%之间,油页岩厚度近20m;干酪根显微组分和可溶有机质组成研究显示: $Es_3^4$ 泥岩内无定形体和藻质体含量丰富,干酪根成分中腐泥组占优势,干酪根类型以Ⅱ<sub>1</sub>型和Ⅰ型为主。总之,优质烃源岩控制了南堡凹陷浅层亿吨级大油田的形成,为油气成藏提供了充足油源。

### 1.2 优质储层分布广泛,利于油气运移和储集

南堡凹陷在古近纪受南、北3大物源持续供给,沉积了一套以湖相为背景的扇三角洲、水下扇、三角洲等成因类型的砂体,砂体发育,岩石类型多。扇三角洲前缘储层物性好,整体上具有厚度大、分布广、非均质性较强和高孔、高渗特点,为油气运聚和储集提供了有利空间。

古近系东营组储层以扇三角洲沉积为主,发育分布广泛的砂泥岩薄互层,其砂岩类型主要为长石砂岩,碎屑成分主要是石英和长石,石英含量占50%以上,其分选性和磨圆度属于中等—好,胶结类型为孔隙式胶结;砂岩总厚度平均约256m,单砂层最大厚度为40m,一般为3~12m,含砂率为57%。东一段储层大多以原生粒间孔隙为主,局部发育粒间溶孔、粒内溶孔等孔隙类型,具有特大孔—细喉型孔隙结构;储层有效孔隙度一般为20%~30%,平均为24.9%,渗透率

一般大于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,最大为 $3679 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均为 $445 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于中—高孔、高渗优质储层。受局部玄武岩或玄武质泥岩影响,该套砂层横向分布相对不稳定,非均质性较强,易形成火山岩遮挡型油藏。

新近系馆陶组由一套辫状河沉积的细砂岩、中砂岩及含砾不等粒砂岩及基性火山岩夹薄层灰绿色、灰色泥岩组成,平均厚度约300~500 m,纵向上多数井发育3段式沉积;下部是一套含泥砂砾岩,为主要含油层段;中部发育大套火成岩,为区域盖层;中上部为一套砂泥岩薄互层的溢岸或片流沉积,顶部发育厚层退积式反旋回河道沉积。馆陶组储层类型属于高孔、高渗优质储层,如Np1井馆陶组主要含油取心层段的孔隙度平均为25.2%,渗透率平均为 $371.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由于局部发育的厚层玄武岩或玄武质泥岩可能导致砂体横向上分布不稳定,因此具有较强的非均质性。

新近系明化镇组以曲流河沉积为主;岩性以中、细砂岩为主,含砂率一般在38%~48%之间,最高可达59%;岩石矿物成分以石英和长石为主,岩屑含量一般在10%~15%之间;单砂层厚度一般都在10~25 m之间,最大可达80 m。该套砂岩平面上近南北向连片分布,纵向上发育中、厚互层砂泥岩,其主力油层明化镇组下段储层的有效孔隙度平均为29.5%,渗透率平均为 $2272.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于高孔、高渗优质储层。

### 1.3 断裂和砂体组成的复合输导体系是油气运移的优势通道

连通砂体、断裂体系和不整合面是我国东部盆地最主要的油气输导体类型,由它们组成的输导体系控制了油气的运移和聚集。南堡凹陷内断层很发育,从对构造的控制角度可以分为控凹断层、控洼断层、控带断层等3个级别。除在奥陶系发现的潜山油气藏外,几乎所有的已知油气藏均与断层有关,但不同级别的断层在油气运移成藏过程中所发挥的作用不一。

作为控制油气聚集带形成的二级断裂,其形成和发展不仅直接控制了南堡凹陷构造带的形成和演化,而且控制了不同时期的沉积次凹以及生油次凹的分布,这种断层在凹陷内通常延伸较长,为裂陷期同生断层,活动时期也较长。其中最重要的是高柳断层:随着沙河街晚期2条边界断层——西南庄断层和柏各庄断层的伸展量向凹陷内部的转移,高柳断

层的活动加强,这一转换直接导致了东营组沉积沉降中心的南迁,将以沙河街组沉积为主的拾场次凹与南部沉积单元分隔,从而奠定了南堡凹陷平面上2套含油气系统的分布模式。

控带的三级断裂则直接控制了油气来源和最终的油气分布特征。南堡凹陷内有效烃源岩均在2500 m埋深之下的超压成藏动力系统之内。在岩性封隔层的分隔作用下,如无通源断裂的活动则无法为浅层的常压成藏动力系统提供充足的油气,也就无法形成大规模的油气藏。通源断裂通常是凹陷内的控凹断层、控洼断层等较低序列的断层(通常为三级断层),平面上往往仅在二级构造带内部延伸,例如,高尚堡油田的高北断层,高尚堡油田和柳赞油田之间的溯河断层,高南地区的高南断层,以及控制南堡1号潜山的南堡1号断层等。这一类断层为裂陷期同生断层或者裂后断层,向上可通达新近系内,向下连接沙河街组烃源岩,活动时间较晚,它有能力将下伏地层生成的油气输导到浅层常压成藏动力系统中聚集。此外,控带的三级断裂往往发育大量的次级断层,这些次级断层的遮挡性为断块圈闭的形成创造了条件,从而形成良好的油气聚集场所。

### 1.4 大型继承性构造是油气富集的主要场所

南堡凹陷是新生代继承性发展的断陷,在构造和沉积演化过程中形成了多种类型的油气圈闭:在基底凸起上发育了大量的继承性的背斜构造,在断裂作用下,这些背斜构造进一步分隔成断背斜、断鼻、断块;盆地的周期性升降形成了盆地规模的不整合,旋回性发展的沉积层序也导致砂体尖灭点的变迁,这一过程中形成了大量的岩性-地层圈闭。这些圈闭平面上成排、成带分布,垂向上往往具有较强的继承性,为油气聚集提供了有利的富集场所。

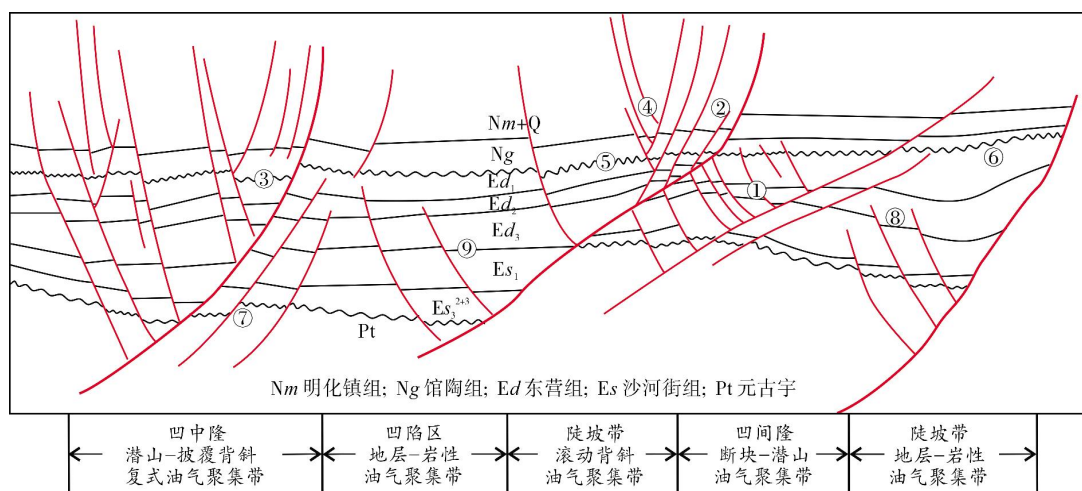
勘探成果显示,南堡凹陷发育有2大类9类圈闭(表1):构造类圈闭包括断块圈闭、断鼻圈闭、披覆背斜圈闭、滚动背斜圈闭、断背斜圈闭等;岩性-地层类圈闭包括不整合圈闭、潜山圈闭、上倾砂体以及砂岩透镜体等。

不同构造单元发育的圈闭类型有所不同(图2)。凹中隆主要形成潜山和上覆的披覆背斜构造;陡坡带发育滚动背斜带;而凹间隆则以断块-潜山带等为主。



表 1 南堡凹陷圈闭类型分类表

圈闭类型	构造圈闭					岩性-地层圈闭			
	①断块	②断鼻	③披覆背斜	④滚动背斜	⑤断背斜	⑥不整合	⑦潜山	⑧上倾砂体	⑨砂岩透镜体
示意图									
典型代表	高尚堡(Es)	B5井(Ed)	Np1井(Ed)	老爷庙(Ed)	北堡(Ed)	L13井(Es)	Np2井(O)	G5井(Es)	G20井(Ed)



图中序号对应的圈闭类型见表 1

图 2 南堡凹陷不同构造单元圈闭发育示意图

除了构造圈闭以外,南堡凹陷还发育大量的岩性-地层圈闭。这类圈闭主要分布在凹陷的边缘,大型断层前缘或者盆地中心。如柳赞构造沙一段中发现了大量的不整合油气藏,而林雀次凹中也有不同规模的砂岩透镜体油气藏发现。

可见,南堡凹陷的5个主要构造带均为基底潜山披覆背斜构造或生长背斜构造,纵向上有很好的继承性,在油源断层的连通下形成多层位的油气富集。从断陷到坳陷,南堡凹陷的油气运聚单元面貌从未发生大规模变化。时、空中继承发展的油气运聚单元更有效地保证了各构造成为长期、有效的聚集区。继承发展的构造和运聚单元最大程度上减少了油气散失,有力地保障了南堡大型油气聚集区的形成。

## 2 常规与非常规石油成藏模式

### 2.1 成藏模式

南堡凹陷是一个具有多幕断陷活动、多沉积旋回的新近系—古近系含油气凹陷,发育了多套烃源

岩,具有多种形式的构造样式,历经多期的油气生成、运移和聚集的过程,从而形成了多种类型的复式油气聚集带。通过解剖典型油气藏,分析油气成藏条件,总结了以下5种成藏模式,包括3种常规油气成藏模式(图3)和2种致密油成藏模式(图4)。

#### 2.1.1 常规油成藏模式

##### (1) 源上常压断控成藏模式

油气首先是在生烃灶内自两侧沿砂岩体向构造带侧向运移,在生烃灶之下形成自生自储型超压油气藏,由于自生自储型油气藏的幕式超压释放,油气沿断裂向上呈树枝状运移,在生烃灶之上形成下生上储型常压次生油气藏<sup>[1]</sup>。不同层位的不同类型油气藏在平面上叠合连片形成复式油气聚集带。

##### (2) 源内弱超压断裂-相控成藏模式

该模式存在于凹陷南部斜坡带,油源来自沙三段和沙一段—东三段含油气系统的烃源岩。由于断裂不发育,主要形成侧向分布的成藏组合。该带由于处于滩海地区,勘探程度较低,预测是地层超覆、地层不整合以及岩性油气藏的叠合分布区。

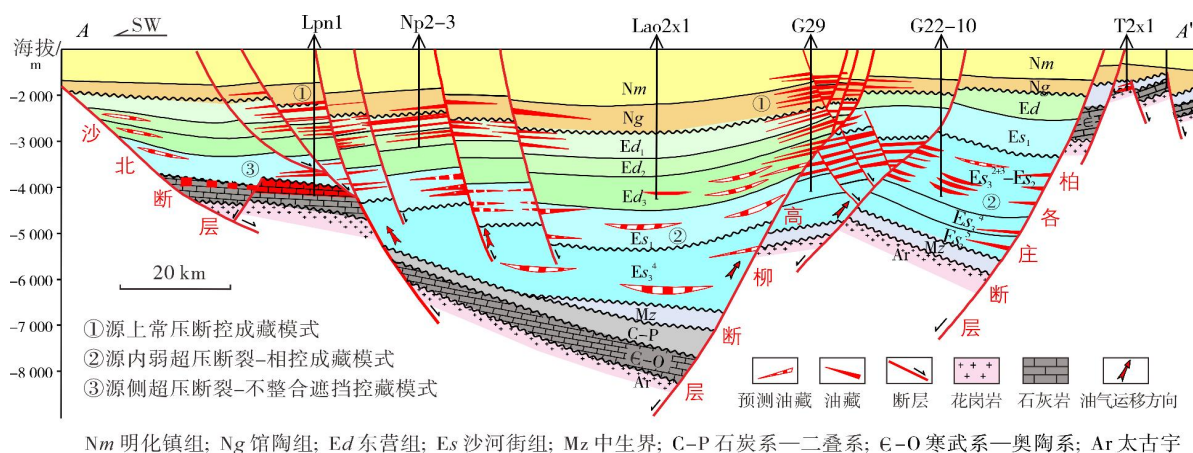
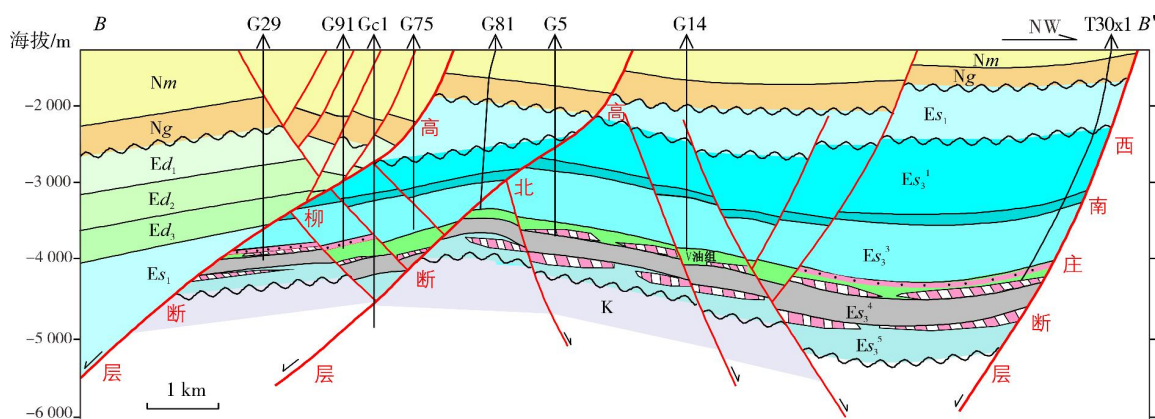
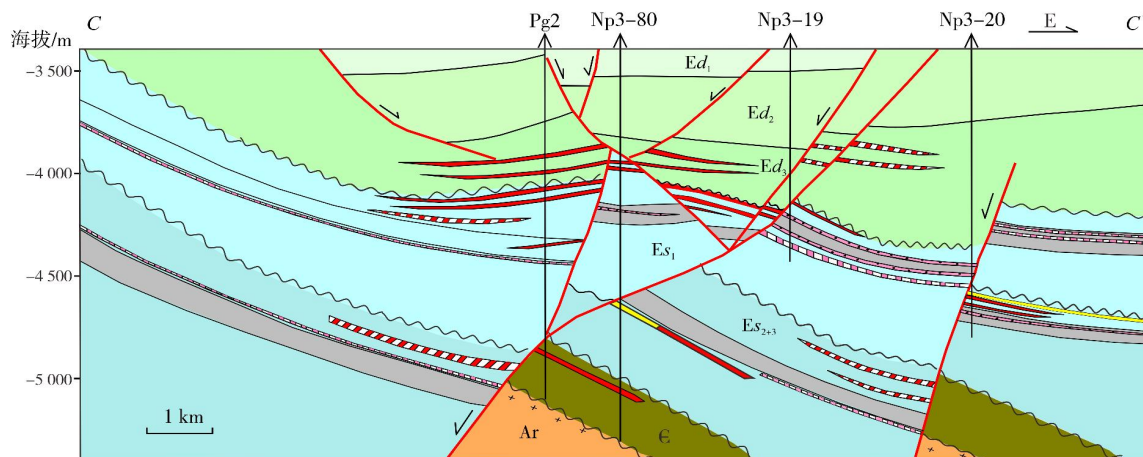


图3 南堡凹陷常规油气成藏模式图(据参考文献[11]修改)

剖面位置见图1



(a) 拾场次凹致密油成藏模式



(b) 南部斜坡区致密油成藏模式

常规油藏
  预测常规油
  预测致密气
  致密油层
  预测致密油
  烃源岩
  断层

Nm 明化镇组; Ng 馆陶组; Ed 东营组; Es 沙河街组; K 白垩系; E 寒武系; Ar 太古宇

图4 南堡凹陷致密油成藏模式

剖面位置见图1

### (3) 源侧超压断裂-不整合遮挡控藏模式

该模式存在于凹陷南部斜坡区,油源来自凹陷低部位或断层下降盘深部,生烃灶内的油气首先沿断裂运移,然后沿新近系底部不整合面侧向运移聚集,形成新近系披覆背斜油藏和中生界—古生界潜山油藏。

### 2.1.2 致密油成藏模式

#### (1) 源外超压充注-断砂联合输导-次生孔缝型成藏模式

该模式以高尚堡构造沙三段致密油藏最为典型。致密储层位于  $Es_3^4$  烃源岩之上(图4a)。油气通过控源断层进行垂向运移,紧邻控源断裂的砂体既可以做油气横向运移的通道,又可以成为油气聚集的储层。超压是油气初期运移和二次运移的主要动力,油气在超压作用下充注进入发育各种次生孔-缝系统的储层。

#### (2) 源内超压充注-次生孔缝型成藏模式

这类模式与源外成藏模式不同的是:这类致密油藏附近无控源断层,生成的油气滞留于烃源岩内,或由于超压作用进入与源岩互层的砂体中(如 Np3-20井区,图4b),油气运移距离一般为0.5~2m;砂体厚度相对较薄,且多是砂泥岩互层。此类致密油藏的面积直接决定于烃源岩的展布以及与源岩紧邻的致密砂岩的储层特征,致密储层中的次生孔缝系统也是决定致密油成藏的关键因素。

## 2.2 油气富集规律

烃源岩、断裂、砂体和继承性构造是南堡凹陷油气富集的关键因素。在这些因素的控制下,浅层与中深层的油气富集存在一定差异。

浅层油气藏是典型的次生油气藏,油藏环绕南堡凹陷的主力生烃次凹——林雀次凹和曹妃甸次凹成环带状分布,主要富集在油源断层两侧的有利构造中<sup>[4,12-13]</sup>。晚期新构造运动形成了与控带断裂伴生的大量的北东向、北东东向、近东西向的次级断裂<sup>[14]</sup>,这些断裂相互切割,沟通了沙河街组、东营组油源向上运移,同时还沟通了区域性分布的馆陶组的厚砂层,从而使断裂、砂体、不整合面共同组成油气输导系统,同时形成了断块圈闭的侧向遮挡,使南堡凹陷沙河街组—东营组生成的油气通过油气运移输导网向中浅层运移,从而形成中浅层的油气聚集带。

中深层的油气藏分布主要受西南庄断层和高柳断层以南的构造带所控制,主要接受南部凹陷中心的生烃凹陷的油源。油源对比研究表明,南堡凹陷中

深层含油气组合的油气主要来自  $Es_3$ 、 $Es_1$  烃源岩,部分来自东营组。断层和砂体是沟通沙河街组油源的主要通道。中深层含油气组合断层活动期为明化镇期,油气大量生成期也为明化镇期,构造形成期与油气大量生成期相匹配。由于油藏具有混源的特点,所以具有原生和次生 2 种成藏机制。就次生机制来讲,构造尤其是油源断层的作用是成藏过程中的重要因素,油气藏的分布与油源断层分布相关;而作为原生油藏,则表现为受生烃中心的控制,围绕生烃中心分布的构造或岩性圈闭都是油气聚集的场所,更多油藏的形成是受构造和岩性双重因素的控制<sup>[15]</sup>。

南堡凹陷古近系致密油主要分布于凹陷至构造带的斜坡部位,不同层位分布具有分带性:沙一段多发育在滩海地区 3 号、4 号构造带,沙三段主要集中在高尚堡地区。致密砂岩厚度大,属特低孔特低渗、超低孔超低渗储层;致密砂岩主要发育次生溶蚀孔、裂缝及残余原生孔,这为致密油成藏提供了储集空间;源储配置关系良好,地层超压又为油气充注、运移提供成藏动力。

## 3 石油资源潜力与勘探方向

结合第三次资源评价后的勘探新突破和地质研究新认识,根据新的勘探发现,对刻度区重新解剖,对油气系统进行重新模拟,对资源丰度、运聚系数等关键参数进行合理的调整,重新认识新近系浅层次生油藏,滩海地区东营组和沙一段的构造油藏,深层岩性油藏和潜山油藏等 3 大地质领域的资源潜力。通过圈闭加和法、类比法和供油单元法等 3 种方法进行了区带资源量计算,开展凹陷石油资源潜力评估,预测凹陷石油地质资源量,明确剩余地质资源量分布特征,结合地质风险评价指出未来有利勘探领域和方向。

### 3.1 常规与非常规石油资源潜力

南堡凹陷的含油层系主要包括新近系的明化镇组、馆陶组和古近系的东营组、沙河街组及侏罗系和寒武系—奥陶系。分别选取勘探开发程度高的高柳构造带,以及勘探程度较高、对南堡凹陷具有较大勘探意义的南堡 1 号构造东一段、南堡 3 号构造沙一段作为刻度区进行解剖,以统计法计算刻度区资源量,并确定运聚系数。通过地质风险评价获得评价区相似系数和运聚系数,最终确定凹陷常规石油地质资源量为  $12.20 \times 10^8 t$ ,石油可采资源量为  $2.48 \times 10^8 t$ (表2)。



近年来南堡凹陷非常规油气勘探获得初步发现,展示了一定的勘探潜力。通过统计法和类比法加权平均得到南堡凹陷古近系致密油资源量为 $2.19 \times 10^8 \text{ t}$ ,可采资源量为 $0.174 \times 10^8 \text{ t}$ (表2)。

表 2 南堡凹陷石油资源量汇总表  $10^8 \text{ t}$

区块名称	常规石油		致密油	
	地质资源量	可采资源量	地质资源量	可采资源量
南堡 1 号	2.75	0.62	2.19	0.174
南堡 2 号	2.43	0.46		
南堡 3 号	0.84	0.19		
南堡 4 号	0.85	0.15		
南堡 5 号	0.79	0.13		
老爷庙	1.23	0.23		
高柳	3.39	0.69		
蛤坨	0.06	0.01		
合计	12.20	2.48		

## 3.2 剩余石油资源分布

南堡凹陷常规石油探明储量为 $5.1 \times 10^8 \text{ t}$ ,剩余资源量为 $7.1 \times 10^8 \text{ t}$ ;非常规资源量尚未探明,剩余资源量 $2.19 \times 10^8 \text{ t}$ 。从勘探层系上看,中深层和潜山勘探潜力大。目前南堡凹陷中浅层石油资源量探明程度较高,中浅层资源量为 $8.57 \times 10^8 \text{ t}$ ,探明石油地质储量 $5.63 \times 10^8 \text{ t}$ ,资源探明率达66%,已达到高勘探程度;中深层资源量为 $5.83 \times 10^8 \text{ t}$ ,探明石油地质储量为 $1.36 \times 10^8 \text{ t}$ ,资源探明率仅为23%;潜山石油地质资源量为 $0.42 \times 10^8 \text{ t}$ ,而探明石油地质储量仅为 $0.10 \times 10^8 \text{ t}$ ,石油地质资源探明率为24%,仅周边凸起的潜山发现了探明储量,南堡凹陷古生界潜山还未发现探明储量。

## 3.3 石油有利勘探方向

### 3.3.1 中浅层有利勘探方向

中浅层勘探应重点加强南堡 1 号、南堡 2 号、南堡 4 号构造带新近系明化镇组和馆陶组油藏的整体评价,同时兼顾高柳构造带和老爷庙构造带明化镇组和馆陶组的油气成藏条件综合评价。综合研究显示:南堡 1 号和南堡 2 号构造带成藏条件有利,都位于古隆起之上,储层、油源断裂和相关圈闭发育,多口探井已有重要发现和获得工业油流;南堡 4 号构造带位于蛤坨断层下降盘,构造带内发育一系列雁列式展布的断层,这些断层走向由北东向转为北西

向并逐渐收拢相交,具有典型的帚状构造形态,也是有利的成藏区。这 3 个地区虽然待发现的资源量较少,但实际探明率低,待探明储量丰富,因此仍然为下一步勘探重点区。

### 3.3.2 中深层有利勘探方向

南堡凹陷中深层石油资源主要集中在 $\text{Ed}_{2+3}$ 与 $\text{Es}$ ,资源量共计 $5.83 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中探明储量 $1.36 \times 10^8 \text{ t}$ ,剩余资源 $4.47 \times 10^8 \text{ t}$ ,探明率达23%。剩余石油资源中, $\text{Ed}_{2+3}$ 的有 $3.07 \times 10^8 \text{ t}$ , $\text{Es}$ 的有 $1.40 \times 10^8 \text{ t}$ 。

南堡油田中深层构造背景有利,砂岩储层发育,油源条件好,勘探潜力大。中深层勘探应重点加强区域单斜背景上、以 $\text{Ed}_2$ 至 $\text{Es}_3$ 为主的第二走滑断阶带或构造围斜部位的构造-岩性油气藏勘探,应充分利用层序地层三维体解释技术,识别和追踪扇三角洲和三角洲砂体岩性圈闭。目前在南堡1号、南堡2号、南堡4号、南堡5号构造带已发现岩性地质体近10个,有利勘探叠合面积近 $120 \text{ km}^2$ ,特别是南堡5号构造带在沙一段岩性地质体中已发现大量油气,表明其存在较大的勘探潜力,应加强投入和研究。中深层目前也发现一批以火山岩遮挡或地层超覆为主的岩性-地层油气藏,在南堡1号、南堡2号和南堡4号构造带东营组下段和沙河街组中已发现火成岩侧向封堵圈闭15个,圈闭面积约 $20 \text{ km}^2$ ,发现地层超覆圈闭12个,圈闭面积约 $30 \text{ km}^2$ ,具有较大的勘探潜力。

### 3.3.3 潜山有利勘探方向

南堡凹陷潜山勘探应以奥陶系出露区为重点,同时兼顾中生界其他有利区。综合研究统计显示:以奥陶系为重点的中生界—古生界潜山油气藏的圈闭面积可达 $360 \text{ km}^2$ ,发育多个潜山带,具有较大勘探潜力。南堡1号奥陶系潜山带,其与古近系烃源岩侧向对接,裂缝型储层发育,油源断裂和不整合发育,成藏条件优越<sup>[16]</sup>;Np1井和Np1-5井钻探结果显示,该圈闭资源量落实,为有利勘探区。西南庄—柏各庄凸起断层带潜山,其断层下盘凸起是寻找中生界侏罗系、下古生界寒武系及新元古界青白口系油藏的有利地区;该带埋藏浅,柏各庄T7x1井侏罗系与T2x1井寒武系都有油气发现,西南庄断层上升盘T19井和T20x1井分别在奥陶系和寒武系中获工业油气流。因此,下一步应重点针对南堡1号潜山、南堡2号潜山和西南庄—柏各庄凸起断层带开展勘探。

## 4 结 论

(1)南堡凹陷是一个典型的富油气凹陷,常规油与非常规油资源丰富。纵向上发育多套烃源岩,尤其是深层优质烃源岩发育,为油气生成提供了坚实基础;由断裂和砂体组成的复合输导体系是南堡凹陷内油气运移的优势通道;大型继承性构造是油气富集的主要场所。

(2)南堡凹陷常规石油主要发育源上、源内和源侧 3 种成藏模式,浅层石油主要富集在油源断层两侧的有利构造中,断层和砂体是中深层油气运移的主要通道,油气受构造和岩性双重控制。致密油主要分布在源内和紧邻烃源岩的致密储层中,源储配置良好,发育源外超压充注-断砂联合输导-次生孔缝型和源内超压充注-次生孔缝型 2 种成藏模式。

(3)本次油气资源评价结果表明,南堡凹陷常规石油地质资源量为  $12.20 \times 10^8$  t,致密油资源量为  $2.19 \times 10^8$  t。剩余石油地质资源量集中分布在高柳、南堡 1 号、南堡 2 号和老爷庙等构造带,这 4 个构造带是南堡凹陷未来石油勘探的重点领域。

### 参 考 文 献

- [1] 牟敦山,付广,陈雪晴. 南堡 1 号构造馆三段断盖配置油气渗漏部位及其控藏作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(4): 1008-1017.
- [2] 李亮,张敬艺,赵晓东,等. 南堡 3 号构造中深层优势储层发育主控因素及模式[J]. 断块油气田, 2018, 25(3): 290-293.
- [3] 王忆非,刘怀山,王元媛,等. 南堡凹陷高北斜坡带沙 2+3 亚段断裂构造特征及其油气地质意义[J]. 中国海洋大学学报, 2018, 48(7): 73-79.
- [4] 付广,王超,历娜,等. 断-砂配置中油气运移方向的判别方法及其应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(5): 51-58.
- [5] 胡明,姜宏军,付广,等. 似花状断裂密集带富油差异性:以渤海湾盆地南堡凹陷中浅层为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(4): 528-537.
- [6] 姜福杰,董月霞,庞雄奇,等. 南堡凹陷油气分布特征与主控因素分析[J]. 现代地质, 2013, 27(5): 1258-1264.
- [7] 卿颖,张敬艺,汪浩源,等. 南堡凹陷高南斜坡古近系岩性油藏勘探实践[J]. 特种油气藏, 2013, 20(6): 48-51.
- [8] 郭继刚,董月霞,庞雄奇,等. 南堡凹陷沙三段致密砂岩气成藏条件[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 23-34.
- [9] 郑红菊,董月霞,朱光有,等. 南堡凹陷优质烃源岩的新发现[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 385-391.
- [10] 郑红菊,董月霞,王旭东,等. 渤海湾盆地南堡富油气凹陷烃源岩的形成及其特征[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 78-83.
- [11] 汪泽成,郑红菊,徐安娜,等. 南堡凹陷源上成藏组合油气勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 11-16.
- [12] 付广,李鑫,刘峻桥. 南堡凹陷中浅层油源断裂与其他成藏要素的空间配置及控藏作用[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2014, 33(1): 1-8.
- [13] 李宏义,姜振学,董月霞,等. 渤海湾盆地南堡凹陷断层对油气运聚的控制作用[J]. 现代地质, 2010, 24(4): 755-761.
- [14] 刘晓峰,董月霞,王华. 渤海湾盆地南堡凹陷的背形负花状构造[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(6): 1029-1034.
- [15] 董月霞,庞雄奇,黄曼宁,等. 渤海湾盆地南堡凹陷油气成藏区带定量预测与评价[J]. 石油学报, 2015, 36(增刊 2): 19-35.
- [16] 王拥军,张宝民,董月霞,等. 南堡凹陷奥陶系潜山岩溶塌陷体识别、储层特征及油气勘探前景[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 570-580.

编辑:黄革萍

## The geological conditions, resource potential and exploration direction in Nanpu Sag of Jidong Depression, Bohai Bay Basin

WANG Jianwei, DU Jingxia, ZHANG Yongchao, WANG Quanli, ZHAO Shu'e

**Abstract:** Nanpu Sag is a typical hydrocarbon-rich sag in Jidong Depression, Bohai Bay Basin. New discoveries have been made in several fields recently, showing great exploration potential of oil and gas in this sag. The conflict between the results of the 3rd resources evaluation and the current exploration practice is increasing evidently, which makes it difficult to guide the exploration. Through the analysis of petroleum geological characteristics of Nanpu Sag, this paper analyze the hydrocarbon accumulation conditions, establish hydrocarbon accumulation patterns in different exploration fields, and clarifies the regulations of hydrocarbon accumulation. Based on the assessment of the geological risks, the evaluation methods were optimized to carry out the calculation of resources, and to clarify the distribution of remaining resources and favorable exploration fields in the future. The results show that there are  $12.20 \times 10^8$  t of the conventional oil resources,  $2.19 \times 10^8$  t of unconventional oil resources,  $7.1 \times 10^8$  t of remaining conventional oil resources. According to the principle of "considering both shallow and deep layers, exploring both oil and gas", it is pointed out that four structural zones, such as Gaoliu, Nanpu 1, Nanpu 2 and Laoyemiao, are the key exploration targets in the future.

**Key words:** resources potential; remaining resources; exploration direction; oil; Nanpu Sag; Bohai Bay Basin

WANG Jianwei, First author: Senior Engineer, engaged in petroleum geology. Add: 1st Scientific Research Building of Jidong Oilfield Company, Area 51a, Lubei District, Tangshan, Hebei 063004, China