

引用: 张宇, 刘超英, 程喆. 中国石化东部断陷盆地成熟探区勘探转型发展探讨[J]. 中国石油勘探, 2023,28(3):12-22.

Zhang Yu, Liu Chaoying, Cheng Zhe. Discussion on exploration transformation and development of mature exploration areas in eastern fault basin of Sinopec[J]. China Petroleum Exploration, 2023,28(3):12-22.

# 中国石化东部断陷盆地成熟探区勘探转型发展探讨

张宇<sup>1</sup> 刘超英<sup>2</sup> 程喆<sup>2</sup>

(1 中国石化油田勘探开发事业部; 2 中国石化石油勘探开发研究院)

**摘要:** 近年来,通过持续深化勘探,在我国东部陆上断陷盆地成熟探区实现了效益增储,并在新区带、新类型、新层系上不断有新的发现与拓展,页岩油正成为战略接替资源,但也面临着具有引领意义的发现少、发现后规模展开难度大、对关键勘探技术支撑的依赖显著增加、资源品质下降、勘探成效下降的高质量勘探压力。通过系统剖析中国石油化工股份有限公司(简称中国石化)所辖东部断陷盆地成熟探区勘探发展形势与勘探潜力,明确了勘探转型发展的主要方向及举措。中国石化东部断陷盆地成熟探区具有石油勘探发展的资源优势、理论技术优势,是持续增储的“压舱石”。勘探工作必须正视勘探的阶段性和长期性、多资源并存的客观特点,树立富油气盆地勘探无禁区理念,解放思想、创新思路,以实现高质量发展。统筹协调常规与非常规、精细勘探与规模拓展勘探、地震部署与提效勘探、工程技术与突破转化等关系是勘探转型发展的主要方向;持续优化常规与非常规差异化部署、提升高精度高密度地震勘探、突出剩余油气资源潜力评价、优化“三新”领域突破部署和一体化评价是勘探转型发展的主要举措;加强勘探基础工作、勘探技术迭代升级和勘探开发一体化组织运行是实现高质量勘探的主要手段。

**关键词:** 中国石化; 东部断陷盆地; 成熟探区; 勘探实践; 转型发展; 统筹勘探

**中图分类号:** TE122.11 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.03.002

## Discussion on exploration transformation and development of mature exploration areas in eastern fault basins of Sinopec

Zhang Yu<sup>1</sup>, Liu Chaoying<sup>2</sup>, Cheng Zhe<sup>2</sup>

(1 Department of Oilfield Exploration & Development, Sinopec; 2 Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute)

**Abstract:** In recent years, the continuous exploration progress in mature areas in continental fault basins in eastern China enables to achieve the benefit reserve increase and obtain discoveries and expansion in new exploration zones, new resource types and new series, and shale oil is growing to be the strategic replacement resources. However, the high-quality exploration also faces some challenges, such as few discoveries with leading significance, great difficulty in large-scale development after obtaining discovery, significant increase in dependence on key exploration support technologies, deterioration in resource quality, and decrease in exploration benefits. By systematically analyzing the exploration situation and potential in mature areas in eastern fault basins of Sinopec, the main direction and countermeasures of exploration transformation and development are clarified. The mature exploration areas in eastern fault basins of Sinopec have resource, theoretical and technological advantages, which is a “ballast stone” for continuous reserve increase. In the exploration work, the objective characteristics of multi-stage and long-term exploration, and coexistence of multi-type resources should be emphasized, and the concept of “no forbidden exploration field” in oil and gas rich basins should be establish to liberate the mind and innovate ideas, so as to achieve the high-quality development. The main direction of exploration transformation and development should be followed to coordinate the relationship between conventional and unconventional resources, fine exploration and large-scale expansion, seismic deployment and high-efficiency exploration,

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技攻关项目“油气战略选区评价与决策支持技术”(P21086-1)。

第一作者简介: 张宇(1971-), 男, 河北唐山人, 博士, 2009年毕业于中国科学院广州地球化学研究所, 正高级工程师, 现主要从事油气勘探研究与生产管理工作。地址: 北京市朝阳区朝阳门北大街22号, 邮政编码: 100728。E-mail: zhangyu688@sinopec.com

收稿日期: 2023-02-14; 修改日期: 2023-03-23

technological breakthrough and achievements transformation; The main countermeasures include the continuous optimization of differentiated deployment in conventional and unconventional resources, improvement in high-precision and high-density seismic exploration, emphasis on the evaluation of remaining oil and gas resources, deployment optimization in “three new” fields, and integrated evaluation; Strengthening the basic exploration work, iterative upgrading of exploration technology, and exploration and development integrated organization and operation are the main means to achieve the high-quality exploration.

**Key words:** Sinopec, eastern fault basin, mature exploration area, exploration practice, transformation and development, coordinated exploration

## 0 引言

我国东部陆上断陷盆地已经走过 60 余年的勘探开发历史, 绝大多数盆地(坳陷/凹陷)石油资源探明程度达到 50% 以上, 达到成熟或高成熟勘探阶段<sup>[1-5]</sup>。近年来, 中国石化东部油田企业在勘探程度高、资源探明程度高的勘探形势下, 积极探索高质量勘探发展之路<sup>[6-8]</sup>, 在成熟区带、成熟层系实现效益增储, 在新区带、新类型、新层系上不断有新的发现与拓展, 页岩油正成为战略接替资源。但同时也面临着具有引领意义的发现少、发现后规模展开难度大、对关键勘探技术支撑的依赖显著增加、资源品质下降、单井勘探成效下降的高质量勘探压力。本文从勘探发展阶段的视野, 通过多角度对中国石化东部断陷盆地成熟探区的资源潜力、勘探技术条件的分析, 进一步明确东部成熟探区仍然是石油发展的主要阵地, 提出了勘探转型发展方向和主要举措, 以期实现东部断陷盆地成熟探区高质量勘探发展。

## 1 发展现状

成熟探区是指具有较高勘探开发工作程度、较高资源探明程度和较高采出程度的探区, 一般具备以下特点: (1) 地震勘探程度高, 三维地震全覆盖或二次三维地震全覆盖, 部分地区开展过高精度或高密度目标采集; (2) 钻探程度高, 所有正向构造带已部署实施探井; (3) 资源探明程度高, 主力凹陷探明程度达

到 50% 以上; (4) 地质认识程度较高, 油气地质条件和成藏认识较为清楚<sup>[9-11]</sup>。中国石化东部断陷盆地成熟探区主要包括松辽盆地南部的梨树断陷、长岭断陷, 渤海湾盆地的济阳坳陷、临清坳陷, 以及南襄盆地、江汉盆地、苏北盆地等, 石油资源主要分布在东营、沾化、惠民、东濮等 16 个富油凹陷之中<sup>[12]</sup>, 石油地质资源量约为  $132.55 \times 10^8 \text{t}$ 。

自 1963 年华 8 井在济阳坳陷东营凹陷突破以来, 中国石化东部断陷盆地先后经历了构造油气藏、复式油气藏、隐蔽油气藏等勘探开发阶段, 目前已经进入复杂隐蔽油气藏勘探开发阶段<sup>[12-16]</sup>, 现阶段呈现勘探工作程度高、资源探明程度高、石油资源采出程度高的“三高”特点。截至 2021 年, 中国石化东部断陷盆地 16 个富油凹陷累计实施三维地震(含高精度、高密度三维)  $65727 \text{km}^2$  (表 1), 基本实现三维地震全覆盖, 几个主力增储凹陷均实施了三维地震二次或三次采集; 实施各类探井 14252 口, 探井密度约为  $0.21 \text{口}/\text{km}^2$ , 主力增储凹陷达到  $0.4 \text{口}/\text{km}^2$  以上; 累计探明石油地质储量约为  $68.05 \times 10^8 \text{t}$ , 资源探明程度为 51.34%, 其中东营、惠民、东濮、泌阳、潜江、高邮等凹陷资源探明程度超过 55%; 累计动用石油地质储量  $62.85 \times 10^8 \text{t}$ 、探明石油地质储量动用率为 92.36%, 累计生产石油  $15.88 \times 10^8 \text{t}$ 、动用石油地质储量采出程度为 25.26%, 动用石油地质储量采收率为 28.4%, 综合含水率为 92.5%, 剩余石油可采储量为  $1.97 \times 10^8 \text{t}$ , 整体上达到高动用、高采出、高含水阶段。

表 1 中国石化东部成熟探区主要富油凹陷勘探现状表

Table 1 Exploration status of major oil rich sags in eastern mature exploration areas of Sinopec

凹陷/断陷	勘探面积/ $\text{km}^2$	三维地震/ $\text{km}^2$	探井数/ 口	三维地震 覆盖程度/%	探井密度/ (口· $\text{km}^{-2}$ )	探明石油地质 储量/ $10^4 \text{t}$	地质资源量/ $10^4 \text{t}$	探明程度/ %
东营	8310	13131	3571	158.01	0.42972	260449	466400	55.84
沾化	4637	7630	1897	164.55	0.40910	150998	284400	53.09
惠民	10300	5611	795	54.48	0.07718	37786	67100	56.31
车镇	2706	3802	646	140.50	0.23873	22460	71200	31.54
滩海	3899	5677	492	145.60	0.12619	56870	115800	49.11

续表

凹陷 / 断陷	勘探面积 / km <sup>2</sup>	三维地震 / km <sup>2</sup>	探井数 / 口	三维地震 覆盖程度 /%	探井密度 / (口 · km <sup>-2</sup> )	探明石油地质 储量 /10 <sup>4</sup> t	地质资源量 / 10 <sup>4</sup> t	探明程度 / %
东濮	5030	4670	1640	92.84	0.32604	58379	105158	55.52
泌阳	1000	2528	1134	252.80	1.13400	28159	50100	56.21
南阳	900	1685	330	187.22	0.36667	3351	11400	29.39
潜江	2610	2850	1124	109.20	0.43065	13228	21937	60.30
江陵	7330	2175	286	29.67	0.03902	1809	6481	27.91
高邮	4550	4555	777	100.11	0.17077	19382	32151	60.28
金湖	5201	3899	622	74.97	0.11959	9540	18694	51.03
溱潼	538	1732	342	321.93	0.63569	5249	13200	39.77
海安	2686	1932	139	71.93	0.05175	2285	11388	20.06
长岭	5404	2237	197	41.40	0.03645	4004	27870	14.37
梨树	1836	1613	260	87.85	0.14161	6533	22208	29.42
合计	66937	65727	14252	98.19	0.21292	680482	1325487	51.34

目前中国石化东部断陷盆地成熟探区勘探形势与面临的主要问题是勘探对象复杂隐蔽、目标准备不足、具有引领意义的发现少、发现后规模展开难度大、资源品质下降、单井勘探成效下降，“近源、进源”勘探已经成为勘探发展的新常态。在新的发展阶段，如何推进“三新”领域的规模发现，如何统筹常规、非常规勘探，以转型发展实现高质量勘探是亟待探讨的课题。

2 高质量勘探实践

2.1 主要举措

2014 年以来，国际油价断崖式下跌并长期低位徘徊，上游企业面临空前严峻的发展形势，新的发展形势要求东部成熟探区必须走高质量勘探、效益开发之路<sup>[17-18]</sup>。尤其 2018 年以来，在加大勘探开发力度下，全面加强科技创新与管理创新，在不断探索中形成了以价值引领、创新驱动、管理提效为主要抓手的精细勘探工作流程和方法，取得了显著成效。

(1) 突出价值引领。树立由重视油气发现向重视商业发现转变、由重视储量数量向重视储量价值转变的勘探观念，提升资源价值；坚定“成熟”探区不“成熟”“经验”突围有“资源”的勘探理念，着力精细评价和商业发现。

(2) 突出创新驱动。系统开展构造、储层、沉积、

成藏等要素的再认识，结合有序性规律，建立精细地质模型，按照成熟区带 / 层系、“三新”领域分层次拓展勘探；系统攻关新生代陆相页岩油，形成了断陷湖盆页岩油富集理论认识与甜点评价技术；攻关形成了以“节点采集、宽频宽方位处理、多维数据解释”为特色的单点高密度地震勘探技术，实现了对复杂隐蔽油气藏目标、复杂储层的精细刻画。

(3) 突出管理提效。建立完善成熟探区精细勘探工作规范，按照“方法科学、过程严密、结果可信”原则制定不同类型油藏勘探评价技术规范；以“油藏全周期价值最大化”为目标，树立以“油藏高效发现与储量快速转化”为核心的勘探理念，探索储量价值评估方法，形成“项目化组织、一体化运行”的勘探管理体系。在上述精细勘探的总体安排下，东部老油田企业根据各自探区特点，在相互借鉴中不断探索成熟探区高质量勘探的新思路、新方法<sup>[19-22]</sup>，形成了符合各自探区实际的精细勘探举措，走出了一条效益优先、高质量勘探之路。

2.2 主要成果

近年来，在高质量勘探发展的理念下，中国石化东部老油田企业着眼效益增储，攻关完善勘探配套技术，大力推进精细勘探工程，在成熟区带的“空白区”、新区带、新层系、新类型上不断有新的发现，探明石油地质储量呈现恢复性增长（图 1）。



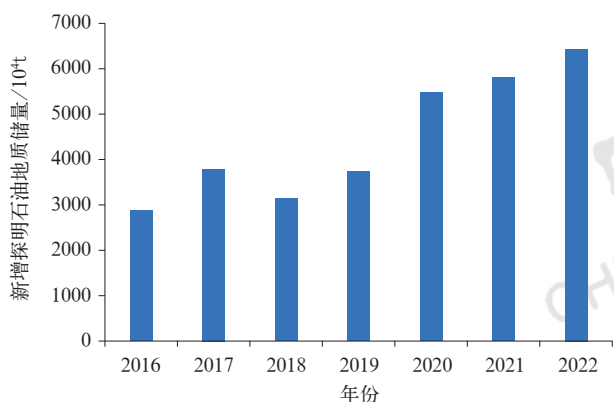


图1 中国石化东部成熟探区2016—2022年探明石油地质储量增长柱状图

Fig.1 Growth of proven geological oil reserves in eastern mature exploration areas of Sinopec during 2016–2022

### 2.2.1 济阳拗陷精细勘探实现亿吨级规模效益发现

在济阳拗陷,创建了以“成化富烃、酸碱控储、有序成藏、精细勘探”为核心的断陷盆地油气精细勘探理论技术,评价新增石油地质资源量 $18 \times 10^8 \text{t}$ ,拓展勘探深度空间1500m,实现了成熟领域持续稳定增储,走出一条老油区的可持续发展之路,2019年以来新增常规石油探明地质储量 $1.25 \times 10^8 \text{t}$ 、控制地质储量 $1.95 \times 10^8 \text{t}$ 、预测地质储量 $2.22 \times 10^8 \text{t}$ 。

在精细区域应力场转换和潜山结构解剖的基础上,形成了“挤一拉一滑一剥共控成山、内幕断层封堵”的潜山地质新认识<sup>[23–25]</sup>,潜山勘探由高部位向低部位转移,形成多层系立体勘探态势。在埕岛地区,近3年埕北313井等8口井日产油达到百吨以上,新增三级地质储量 $3000 \times 10^4 \text{t}$ 以上,拓展有利勘探面积 $200 \sim 300 \text{km}^2$ ,资源规模达到 $(2 \sim 3) \times 10^8 \text{t}$ 。此外,车镇凹陷大王庄、富台地区及东营凹陷高青地区的多类型潜山勘探也取得较好成果。

在济阳拗陷古近系深层,深化成盆、成烃、成藏研究,明确沙四段下部发育自源型和他源型两种成藏体系,并分别开展以烃源条件、沉积储层为重点的成藏规律研究。先后部署实施的丰深斜101、罗176、盘67等井分别在东营北部陡坡带、渤南南部斜坡带和盘河构造带取得重要新发现,实现了深层系多类型、多地区拓展,证实了4200m以深的深层岩性体仍发育较好的储层(孔隙度可达8%以上),勘探向更深层拓展。

### 2.2.2 富油小凹陷创新思路实现规模效益增储

除渤海湾盆地济阳拗陷之外,中国石化东部断陷

盆地发育了众多小富油凹陷。“十三五”以来,通过创新思路,在苏北盆地溱潼凹陷、松辽盆地长岭断陷取得新突破,建成了新油气田;在江汉盆地、南襄盆地等也取得新领域的规模发现。

在苏北盆地溱潼凹陷,按照成藏有序性和差异性认识,通过加强构造、沉积研究<sup>[22]</sup>,认识到外斜坡带是构造—岩性控藏的有利区,创新建立三角洲前缘侧翼—滩坝岩性成藏模式,形成“沿滩边、顺断层、追尖灭”的勘探思路,大胆创新实践,在西部斜坡带构造贫瘠区,勇拔“9口钉子井”,发现仓吉、南华、陈家舍等多个整装规模增储区块,发现了南华油田,2016—2021年新增探明石油地质储量 $987 \times 10^4 \text{t}$ 。

在松辽盆地长岭断陷,深化以烃源、古构造、储层、保存条件为核心的油气藏成藏研究,火石岭组新层系中—基性火山岩新类型勘探取得突破,打破了20年勘探沉寂,北213、北5、北212侧、苏201、查1、查3等井相继获得商业气流,发现了龙凤山气田和查干花油气富集带,新增火山岩领域和碎屑岩领域探明天然气地质储量 $394 \times 10^8 \text{m}^3$ 、凝析油地质储量 $505 \times 10^4 \text{t}$ 。另外,在梨树断陷梨8、梨11等井均获工业油气流,打破了松南地区4000m以深无有效储层的认识禁锢,开辟了深层千亿立方米天然气资源勘探新领域。

在江汉盆地,针对以往研究和勘探程度低的碳酸盐岩相带,通过岩性岩相、储集特征、测井解释、成藏潜力研究,认为碳酸盐岩主要发育在古构造斜坡上,其中颗粒碳酸盐岩单个滩体面积较小、垂向上多滩体叠合,泥晶碳酸盐岩分布连续、面积较大。加强老井复查、复试,黄20—斜10井、黄20斜—4井、潭71斜—7—7井等6口井在潜3<sup>3</sup>—潜3<sup>4</sup>油组原测井解释为干层的现解释为油层,试油日产油10~30t,揭示了碳酸盐岩储层良好的储集性能和成藏条件。初步评价潜江凹陷碳酸盐岩颗粒滩体有利区面积为 $72.6 \text{km}^2$ ,地质资源量为 $5664 \times 10^4 \text{t}$ ,展现了碳酸盐岩领域规模增储潜力。

在南襄盆地,通过精细沉积微相研究,加强甜点区识别技术攻关,安深2、泌212等井在安棚深层系核桃园组三段下亚段—大仓房组取得致密砂岩气勘探突破,整体解放了泌阳凹陷深层致密油气资源。深化东庄—东赵庄构造带油气成藏条件认识,建立“断层切割河道砂体”成藏模式,部署实施的南156井试获工业油气流,打破了南阳凹陷西部沉寂已久的勘探局面。

### 2.2.3 陆相页岩油攻关探索实现战略突破

在济阳凹陷,开展新生代陆相页岩油基础地质研究,攻关突破了页岩岩相、储集性、含油性等多个方面传统认识,创建了页岩油四性评价体系,形成了断陷湖盆页岩油富集理论认识与甜点评价技术,实现了济阳凹陷页岩油从无到有、从富油洼陷到全区域、从中—高成熟度到中—低成熟度、从沙河街组三段下亚段到沙河街组四段纯上亚段等多层系、从富灰质岩相到混积型/富长英质多岩相、从基质型到夹层/裂缝等多类型、从超压—强超压到弱超压等多压力体系的拓展,多洼、多层、多类型持续取得突破,新增页岩油控制地质储量  $1.13 \times 10^8 \text{t}$ 、新增预测地质储量  $11.11 \times 10^8 \text{t}$ 。

在高邮凹陷,2022年按照“点上突破、层上拓展、面上展开”的思路,开展页岩油勘探,取得阜宁组二段Ⅳ、Ⅴ亚段页岩油的战略突破,证实了苏北盆地阜宁组二段“断块型页岩油”具备富集、高产条件;在溱潼凹陷,突出页岩油保存条件及可动性研究,优选溱潼凹陷深凹带稳定区,实施的沙垛1X、溱页1HF页岩油风险探井均获得高产稳产,证实了低TOC泥页岩良好的勘探潜力。

### 2.3 面临的主要问题

东部成熟探区在实现持续增储的同时,也面临着规模发现少、发现后规模展开难度大、对勘探关键技术支撑的依赖显著增加、资源品质下降、单井勘探成效下降的高质量勘探压力。

#### 2.3.1 具有战略引领意义的发现少

以2019—2021年为例,东部成熟探区石油勘探共取得突破发现成果13项,其中,两亿吨级资源量以上重大突破3项,均来自页岩油领域。亿吨级资源量重要突破3项、千万吨级资源量以上新突破7项,除济阳凹陷滩海新区带外,其他均以致密、隐蔽等复杂低丰度领域为主,具有规模小、埋藏深、升级动用难的特点。

#### 2.3.2 突破发现后规模展开难度大

通过对“十三五”以来27个勘探新发现项目后期跟踪,目前高效展开项目仅有10个,有序展开与未展开项目有17个,储量转化程度低,新增探明石油地质储量仅为  $1348 \times 10^4 \text{t}$ ,新增控制石油地质储量为  $3745 \times 10^4 \text{t}$ ,平均每个项目新增探明+控制石油地质储量仅为  $231.5 \times 10^4 \text{t}$ 。上述结果表明,东部成熟探区虽然仍有较多的新发现,但难以规模展开,难以

形成规模接替阵地。

#### 2.3.3 对勘探关键技术支撑的依赖显著增加

随着勘探程度的提高,东部成熟探区地质目标主体逐渐呈现“薄、碎、小、深”的特点。构造破碎,小断块发育;储层厚度薄、含灰质现象普遍,横向变化快。2016—2021年,东部成熟探区储层平均厚度不足5m,目标评价面积不到  $1 \text{km}^2$ ,平均埋深接近3500m。上述勘探对象的特点,使当前地震资料表现为成像精度不高、分辨率不足,最终体现为圈闭识别描述困难,在所有失利探井中由于地震技术不过关的比例达到41.2%。

## 3 高质量勘探发展形势

客观分析我国陆上主要含油气盆地勘探发现规律,多经历了曲折复杂的勘探过程,勘探发现、勘探接替呈现多旋回、多阶段性的曲折过程。我国东部断陷盆地经历了构造油气藏、复式油气藏、隐蔽油气藏勘探阶段之后,目前已经进入复杂隐蔽油气藏勘探阶段,勘探目标复杂隐蔽、储量规模降低、储量丰度降低、单井控制储量规模降低成为勘探的新常态。但东部断陷盆地成熟探区在资源基础、理论技术手段方面又具有较大的优势,是大力提升勘探开发力度、保障国家能源安全的潜力所在。

### 3.1 具备高质量发展的资源优势

中国石化东部断陷盆地成熟探区存在石油资源丰富且富集的优势。目前中国石化主要石油探区面积为  $14.3 \times 10^4 \text{km}^2$ ,石油地质资源量约为  $212 \times 10^8 \text{t}$ 。截至2021年,中国石化累计探明石油地质储量  $88.2 \times 10^8 \text{t}$ ,其中东部断陷盆地主要富油凹陷累计探明石油地质储量约为  $68.05 \times 10^8 \text{t}$ ,占中国石化累计探明石油地质储量的77.15%。从剩余石油地质资源量上看,中国石化东部断陷盆地剩余石油地质资源量为  $64.5 \times 10^8 \text{t}$ ,其他探区为  $59.32 \times 10^8 \text{t}$ ,两者基本持平。但从资源富集程度上看,无论是地质资源丰度还是剩余资源丰度,东部断陷盆地占绝对优势(图2)。

随着时间的推移,富油气盆地的油气资源量评价结果呈现不断变化的过程。例如,济阳凹陷自1984年开展第一轮资源评价以来,先后又进行了四轮次系统的资源评价,评价结果显示常规石油地质资源量总体呈现上升趋势且增加幅度比较大(图3)。尤其通过咸化环境烃源岩再认识,常规石油地质资源量显著增加,“十三五”全国油气资源评价结果与第三次资



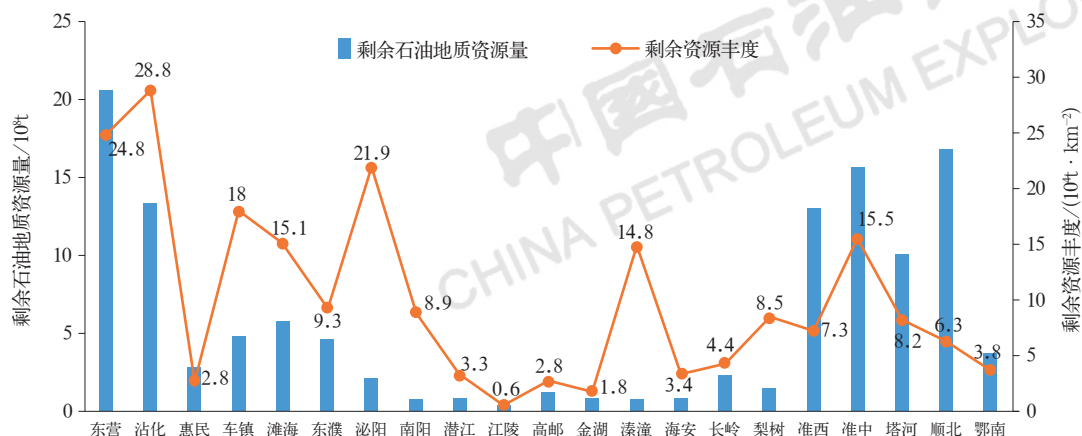


图2 中国石化探区主要石油增储凹陷(区带)资源现状对比图

Fig.2 Comparison of resource status in major oil reserve increasing sags (zones) of Sinopec's exploration areas

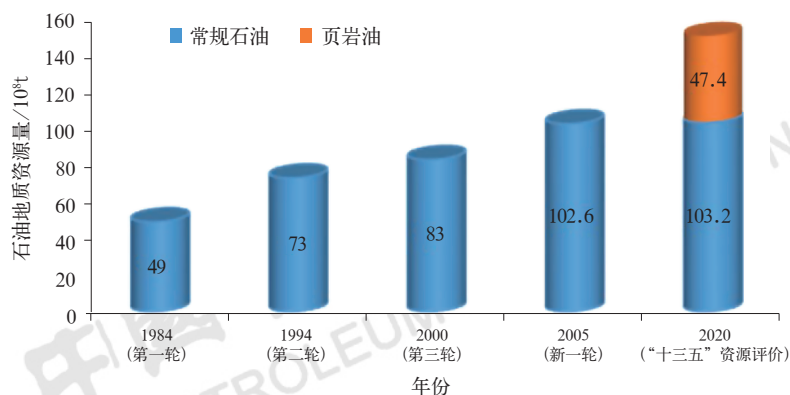


图3 济阳拗陷历次油气资源评价结果变化示意图

Fig.3 Trend of various resource assessment results in Jiyang Depression

源评价结果对比,增加了 $20.2 \times 10^8 \text{t}$ 。2020年,根据页岩油勘探新进展对页岩油资源量进行了评价,页岩油地质资源量为 $47.4 \times 10^8 \text{t}$ 。致使油气资源评价结果演变的主要原因是:人们对油气资源的认识是一个逐步深入的过程,随着资料增多、研究方法和地质认识的不断深化,对油气资源总量和分布逐渐清晰;油气勘探不断向新区、新领域、新类型延伸,使这部分资源得以释放;随着科学技术进步和勘探开发成本的降低,原先认为不能利用的资源得以利用。上述种种原因,使资源评价的结果总体上呈现螺旋式上升的变化趋势。

### 3.2 具备高质量发展的理论技术优势

中国石化东部断陷盆地成熟探区勘探领域经过多轮次转换,实现了储量的持续增长。勘探领域总体上呈现由点拓展到面,由浅层扩展到深层、超深层,由构造油气藏扩展到岩性油气藏、地层油气藏,由源外油气藏拓展到近源、源内油气藏的全过程转换过程。

其中济阳拗陷勘探领域转换的特点十分突出和有代表性。随着勘探逐步深入,济阳拗陷储量增长与勘探领域转换首先是凹陷之间类比甩开,从简单的构造类油气藏逐步转换到岩性油气藏、地层油气藏、潜山油气藏等类型,从易识别的河道砂、三角洲—油积岩等沉积体系转换到更复杂的砂砾岩体、潜山等,总体上遵循由易到难、由简单到复杂的转换过程(图4)。

在储量增长与勘探领域转换实践过程中,伴随着油气地质理论认识逐步深化、关键勘探技术发展完善、勘探思路逐渐形成的过程。反过来,随着勘探类型转换、领域接替的勘探需要,及时深化认识、攻关技术,从而形成正确的勘探思路方法。济阳拗陷在勘探历史上共发生了凹陷之间类比甩开、邻区潜山发现带动、复式油气藏理论突破、海上技术突破推动滩海勘探、邻区发现带动再探潜山、隐蔽油气藏勘探理论技术突破及精细勘探7次较为明显的转换(图4),总体上具有类比拓展勘探区域、理论突破加速勘探进程、技术更新保持勘探稳定的增储规律。

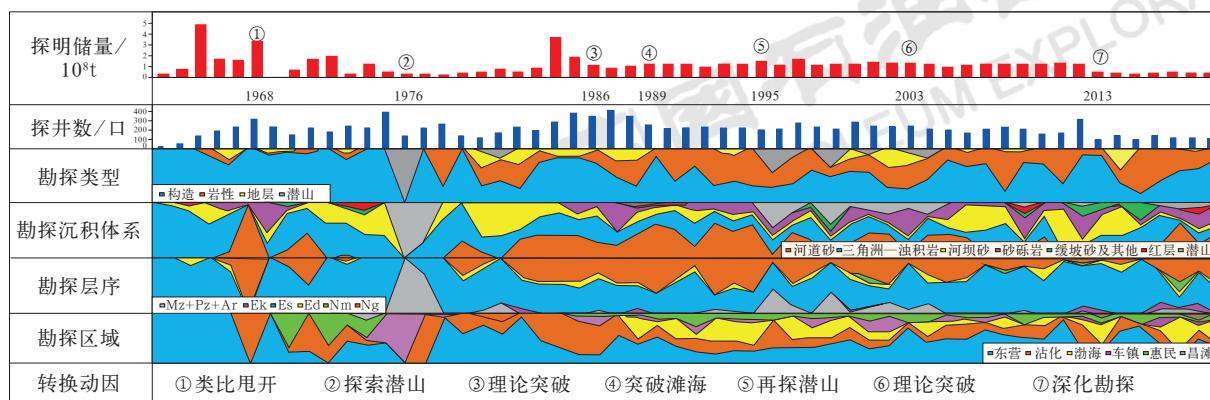


图4 渤海湾盆地济阳坳陷勘探领域转换与储量增长态势图

Fig.4 Exploration field transformation and reserve growth trend in Jiyang Depression in Bohai Bay Basin

根据资源条件、理论技术准备、勘探领域转换与储量增长趋势等预测,在确保适度勘探工作量的前提下,中国石化东部成熟探区2021—2035年期间石油资源探明速度年均保持在0.5%~0.8%之间,具备年均新增探明石油地质储量 $(0.65\sim1.05)\times10^8\text{t}$ 的增储潜力,东部成熟探区仍是中国石化持续稳定增储的“压舱石”,主要勘探方向是成熟区带储量“空白区”、陆相页岩油、深层致密油及新区带、新层系。

### 3.3 低品位成为高质量勘探的新常态

随着油气勘探持续推进,勘探程度的逐步提高,复杂隐蔽油气藏比重增加,目标准备、勘探成效随之下降。

根据全国探明储量公报,中国石化东部成熟探区隐蔽油气藏比重从“十一五”的65%上升到“十三五”的77%,增加了12个百分点。其中济阳坳陷单块新增探明石油地质储量从2011年 $452.5\times10^4\text{t}$ 下降到最低的 $74.3\times10^4\text{t}$ (图5),带来的直接结果是单井探明储量下降,勘探成效下降,2011—2021年平均单井探明储量为 $62.44\times10^4\text{t}$ ,比历史平均单井探明储量降低 $12.27\times10^4\text{t}$ 。从新增储量来看,勘探对象向低—特低丰度、深层等低品位资源的发展趋势仍未从根本上得到扭转,2016—2020年新增控制技术可采储量低—特低丰度占比为82%、低—特低渗储量占比为52%。在目标准备上,2017—2021年有效圈闭储备数量、面积及圈闭资源量均呈现下降趋势。

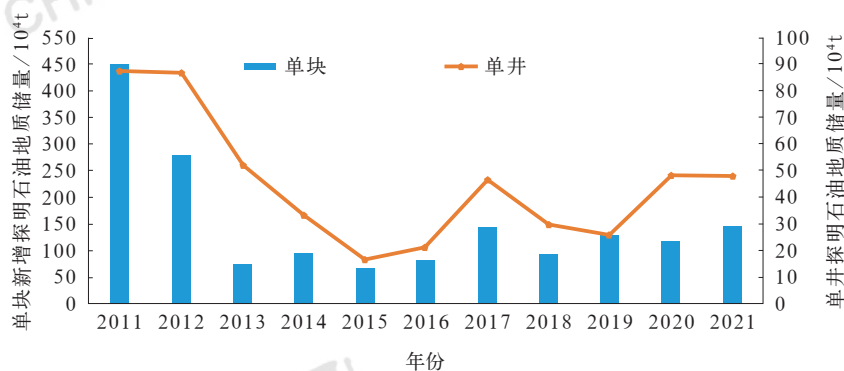


图5 济阳坳陷2011—2021年探明石油地质储量规模与勘探成效图

Fig.5 Proven geological oil reserves and exploration achievements in Jiyang Depression during 2011–2021

## 4 勘探转型发展思考

### 4.1 客观把握勘探特点,坚定发展信心

#### 4.1.1 客观把握勘探新常态,坚定富油气盆地勘探无禁区信念

从全球油气发展现状和趋势来看,油气勘探已全

面进入了以隐蔽油气藏为主的新阶段<sup>[26]</sup>。常规、非常规并重,油、气并重,深、浅层并重,储层复杂,成藏复杂,目标隐蔽,资源品质低,这些已成为勘探新常态。世界石油工业的持续推进已经打破经典的石油地质理论,以页岩油气为代表的连续油气藏理论,正使全球油气工业进入又一次理论技术的创新与跨越,油气进入“二次勘探”阶段转变,即从找储油气

层到全层系转变、从找优质储层向多类型储层转变、从高点找油气到下凹(洼)勘探转变、从局部构造向大面积岩性圈闭和全盆地转变、从找中浅层油气藏到深层超深层油气藏转变、从寻找中—高品位油气资源到低品位油气资源的转变,呈现出整体评价、全过程分析、全类型发展的勘探开发特点。

为此,要进一步解放思想,敢于突破传统的思维定势,敢于突破已有的评价结论,敢于突破勘探禁区,要用创新的理论、开放的思维作引导,客观认识勘探发现规律,客观把握油气阶段发展的决定性因素,扎实做好各项基础工作,深化认识,以理论上的坚定性和勘探实践中的敏感性去不断探索、实践,必然会实现新突破、新发现。

#### 4.1.2 客观把握勘探阶段性,加大关键技术攻关集成

勘探程度高、资源探明程度高、成藏认识程度高的阶段性特点,决定了必须改变以前以资源为导向的勘探发展理念,要以变革性的技术实现资源有效快速转化,以实现资源、技术为导向的双轮驱动发展。

(1) 攻关完善高精度三维地震勘探技术,着力提高地震资料品质,满足预测小砂体、描述尖灭线、刻画小断层的需要,力争三维地震资料主频提高5~10Hz,频宽提高10~20Hz。

(2) 发展完善陆相砂岩储层预测技术、流体检测技术,提高对储层及流体性质的描述和预测精度。发展完善复杂结构井轨迹精细控制及优快钻完井技术、大位移井高效钻完井技术、极大储层接触钻完井配套技术等,达到提速、提效、提产、降本的目的。

(3) 发展复杂油气藏测试解释技术及产能评价技术,着力提升薄储层、致密油气、低电阻率油气层、低孔渗致密砂岩储层等测井评价及流体识别能力,进一步提高油气藏特性评价的精确度。

#### 4.1.3 客观把握勘探长期性,创新勘探思路

创新是勘探的灵魂。我国主要含油气勘探发现无不是认识、技术、勘探思路的创新。济阳拗陷勘探过程中经过7次大的领域转换,从最初的勘探思路创新进行类比甩开勘探提升到认识、技术突破带来了储量的持续高速增长。现阶段东部探区需要加强4个创新,即认识创新突破剩余油气差异分布规律认识,技术创新突破复杂隐蔽目标识别描述、甜点预测、储层改造瓶颈,勘探思路创新探索常规—非常规一体化勘探路径,管理创新完善提质、提效的新措施。

## 4.2 以系统整体的方法论,一体化统筹勘探

### 4.2.1 统筹常规与非常规勘探

中国石化东部断陷盆地成熟探区目前处于以油藏勘探为主,向常规、非常规并重转变的过程,准确把握常规与非常规勘探的关系,是现阶段勘探需要直面的问题。

基于常规老井地质、试油生产资料完成的早期页岩油资源摸排和页岩油高产主控因素研究,明确了页岩油有利岩相、流体类型和有利区分布,大大降低了非常规勘探风险。例如,济阳拗陷通过新一轮200余口老井复查<sup>[27]</sup>,优选优质页岩层段开展重新试油,验证地质新认识,试验压裂新工艺。对直斜井富有机质页岩层压裂改造20余口井,其中90%的井累计产量超过千吨,进一步证实地质新认识的可行性、组合缝网体积压裂工艺的适应性,大大增加了济阳拗陷页岩油勘探的信心。济阳拗陷页岩油产量的突破,离不开近年以砂砾岩勘探为主要目标的长水平井和组合缝网体积压裂技术的长足进步;而非常规勘探对体积压裂理念的深化、钻井液体系油层保护能力的提升、工程成本的持续优化,也逐渐在致密油气藏等低品位常规资源转化中发挥重要作用,部分早期被认为是无效—低产能常规油井经过再次评价后储量提升,提升了常规油气藏评价效益。

近年来通过部署大量兼探井,扩大了页岩油勘探研究的规模,从深洼区逐步向缓坡区、陡坡带及构造复杂地区扩展,降低了页岩油勘探发现成本。在页岩油发育的有利区,广泛发育了滩坝砂、浊积扇、砂砾岩体等致密油气藏,这是常规油气勘探的重点,需要统筹部署,以实现常规与非常规的大发现与规模增储。

### 4.2.2 统筹精细勘探与规模拓展勘探

规模发现是储量增长的源头活水,精细评价是手段。在走向更加精细的同时,可能导致因工作的过于精细,过于围着成熟探区、热点区带数块块、点豆豆,难以形成整体大局观,反映在“三新”领域甩开预探上畏手畏脚,致使战略性发现偏少或即使有发现也难以形成规模拓展。

精细勘探与规模拓展勘探实际上两者是相辅相成的,只有精细勘探做到家,正确处理好预探发现与评价勘探的关系,才能最大限度地寻求新发现、大突破。一方面,突出预探发现的引领作用,加大预探力度,积极探索“三新”领域,力求规模资源接替;另一



方面,立足商业规模发现,加强成熟区带储量空白区评价,带动新层系、新类型的拓展,尽快实现资源的转化。

#### 4.2.3 统筹地震部署与提效勘探关系

勘探是一个长期积累的过程,相对稳定的勘探工作量投入是勘探发展的前提。近年来,在东部成熟探区,攻关形成了以“节点采集、宽频宽方位处理、多维数据解释”为特色的单点高密度地震勘探技术,为目标准备起到了积极作用。实践证明,东部成熟探区只要确保一定的勘探工作量投入,就能实现资源的发现与转化。目前目标准备仍是制约成熟探区勘探的关键难题,因此处理好地震部署与提效勘探的辩证关系是当务之急,集中精力加强已有三维地震资料的筛查、评估,对潜力区该采集的采集、该重新处理的重新处理,以高质量的地震资料为勘探部署提供可靠的目标保障,以可靠的部署从源头提升勘探工作质量。

#### 4.2.4 统筹工程技术与突破转化关系

近年来东部成熟探区长水平井、组合缝网体积压裂、多层合试求产等增产措施比例增大,也取得了显著效果,新增探明石油地质储量的平均千米井深稳定产量由“十二五”的 $6.53\text{m}^3/\text{d}$ 上升到“十三五”以来的 $10.85\text{m}^3/\text{d}$ 。目前东部成熟探区所发现的储量以特低渗一致密资源为主,且呈现出向更致密、深层发展趋势,主体待升级动用储量渗透率由 $1\sim 3\text{mD}$ 已逐渐发展到 $0.1\sim 1\text{mD}$ ,埋深由 $3500\text{m}$ 逐渐加深到 $3500\sim 5000\text{m}$ 。因技术经济等原因,东部成熟探区目前保有的大量控制石油地质储量和预测石油地质储量亟待升级盘活。

资源的劣质化和存量资源的盘活,倒逼工程技术能力的创新与提升、倒逼低品位储量的升级动用,以实现资源的快速有效转化;需要在管理模式上进行创新,以充分提升工程技术能力与工程板块的能动性。

### 4.3 突出关键问题,持续加强攻关创新

目前,东部成熟探区勘探面临的关键问题是基础研究不能适应新领域的要求,资料品质不能完全满足复杂目标勘探需要,钻完井、试油工艺技术成为勘探突破的关键;在生产运行与成本控制上,缺乏在工作量大幅增加下的高效运行方法,存在大批量储层改造和复杂井况条件下成本控制的压力。需要进一步加强基础工作,提高运行效率以提升勘探工作质量。

#### 4.3.1 扎实基础研究,解决资源接替的根本性问题

(1) 强化基础创新。深化构造演化、沉积充填与

源储发育机理研究,充分认识到隐蔽油气藏的复杂性和勘探的艰巨性,深化多源供烃、多期成藏、圈源匹配、富集条件及模式研究,打破认识桎梏,深挖剩余资源潜力,开拓“三新”领域,以规模发现带动高质量勘探。

(2) 挖掘老资料潜力。持续开展探井、物探资料的重新认识,高标准、规范化完成老井复查、地震资料回顾评价;完善成熟探区精细勘探技术体系,做好典型井“铁柱子”评价标尺与致密油气层岩电关系解释模型;以勘探决策系统与透明盆地建设为契机,实现勘探模型化、可视化、信息化、软件化,加快建设勘探“大数据”新引擎。

#### 4.3.2 加强技术迭代升级,全力提升勘探新能力

坚持问题导向、目标导向,持续加强技术攻关,瞄准超深层、复杂隐蔽油气藏、特低渗一致密油气、页岩油气等主要勘探对象突出难点问题,集中力量开展物探、钻井与压裂提产技术攻关。

针对超深层、复杂隐蔽油气藏识别描述难题,在持续开展单点高密度地震技术攻关与降本基础上,进一步把握好地震技术发展趋势。构建理论—装备—采集—处理—解释全面升级的新一代地震技术,统筹推进从组合接收走向单点接收、从有缆采集走向无缆采集、从规则地震走向随机地震、从窄方位处理走向全方位处理、从三维四维走向多维数据解释、从人机交互走向人工智能、从面向勘探走向勘探开发的发展,引领新技术发展方向。针对致密油气、页岩油气等低品位资源,要加强甜点储层预测和试油气技术攻关。围绕超长水平段钻完井技术、大规模体积压裂增能提产技术两项关键技术,开展工程对标研究,明确提升路径,建立学习曲线,形成可复制推广的技术体系;推动勘探工程市场化进程,引进优秀施工队伍和装备。

#### 4.3.3 创新一体化管理,迈向高质量勘探新台阶

在长期勘探开发实践中,东部油田企业发展形成了针对不同类型油气藏的勘探开发一体化模式,例如胜利隐蔽油气藏模式、华东复合油气藏模式等。这些模式的一个共同点就是强调勘探开发全过程的结合,做到了评价研究一体化、井位部署一体化、资料录取一体化、地质工程一体化、储量落实产能建设一体化。实践证明,这些一体化管理做法对推动成熟探区持续增储、效益开发起到了很好的推动作用,在继承发扬这些一体化模式的基础上,充分考虑东部成熟探区的阶段勘探特点,统筹资源配置、优化投资结构、完善

考核机制,探索一条适应成熟探区的差异化勘探管理模式,激发勘探发现活力。

## 5 结论

近年来,通过转变观念,加强理论技术和管理创新,在东部断陷盆地的成熟探区实现了效益增储,并在新区带、新层系、新类型上实现了新的发现,其中页岩油正成为战略接替资源。但也面临着具有引领意义的发现少、发现后规模展开难度大、对关键勘探技术支撑的依赖显著增加、资源品质下降、勘探成效下降的高质量勘探压力。

尽管东部断陷盆地勘探工作程度高、石油资源探明率高,但仍然具有持续发展的资源优势和理论技术优势。与中国石化其他石油探区相比,两者剩余石油资源相当,但东部断陷盆地成熟探区的剩余资源较为富集;经过多年勘探开发实践,东部油田企业发展完善了相对成熟的勘探理论技术、积淀了浑厚的勘探开发经验。根据资源条件、理论技术准备、勘探领域转换与储量增长趋势等预测,在确保适度勘探工作量的前提下,东部断陷盆地仍然是中国石化石油持续稳定增储的主阵地。

中国石化东部断陷盆地已经进入复杂隐蔽油气藏精细勘探开发阶段,转型发展是实现高质量发展的必由之路。勘探工作必须正视勘探工作的阶段性、长期性、多资源并存的客观特点,树立富油气盆地勘探无禁区理念,解放思想、创新思路,以实现高质量发展。

东部断陷盆地成熟探区下一步勘探转型发展的方向是统筹协调常规与非常规、精细勘探与规模拓展勘探、地震部署与提效勘探、工程技术与突破转化,需要持续优化常非差异化勘探部署、提升高精度—高密度地震勘探、突出剩余油气资源潜力评价、优化“三新”领域突破部署和一体化评价,同时要加强勘探基础工作、技术迭代升级和勘探开发一体化组织运行。

## 参考文献

- [1] 潘元林.从济阳拗陷石油储量20年持续高速增长看老区勘探[J].当代石油石化,2005,13(7):21-26.  
Pan Yuanlin. From the reserve changes for 20 years at Jiyang Depression to see the further exploration in the mature areas[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2005,13(7):21-26.
- [2] 关德范,郑和荣,龙胜祥.中国石化东部探区油气勘探潜力分析[J].石油学报,2003,24(2):1-5.  
Guan Defan, Zheng Herong, Long Shengxiang. Analysis on exploration potential for oil and gas in eastern exploration region of China Petroleum and Chemical Corporation[J]. Acta
- Petrolei Sinica, 2003,24(2):1-5.
- [3] 牟书令,蔡希源.永无止境:中国石化“十五”油气勘探实践[M].北京:石油工业出版社,2007:1-340.  
Mou Shuling, Cai Xiyuan. World without end: oil and gas exploration practice during the 10<sup>th</sup> Five-Year Plan of Sinopec[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007:1-340.
- [4] 蔡希源.中国石化近期油气勘探进展与理论技术进步[C]//第四届中国石油地质年会论文集.北京:石油工业出版社,2011:11-29.  
Cai Xiyuan. Progress on theory-technology and oil-gas exploration of China Petroleum and Chemical Corporation[C]//The 4<sup>th</sup> China Petroleum Geological Conference Proceedings. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011:11-29.
- [5] 张大智,初丽兰,李鑫,等.断陷盆地致密砂砾岩储层甜点综合评价及勘探成效:以松辽盆地北部徐家围子断陷下白垩统沙河子组为例[J].中国石油勘探,2022,27(5):73-82.  
Zhang Dazhi, Chu Lilan, Li Xin, et al. Comprehensive sweet point evaluation and exploration results of tight glutenite reservoir in fault basin: a case study of the Lower Cretaceous Shahezi Formation in Xujiaweizi Fault Depression in the northern Songliao Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2022,27(5):73-82.
- [6] 宋振响,周卓明,徐旭辉,等.“十三五”中国石化油气资源评价关键技术进展与发展方向[J].中国石油勘探,2022,27(3):27-37.  
Song Zhenxiang, Zhou Zhuoming, Xu Xuhui, et al. Progress of key technologies for oil and gas resource assessment of Sinopec during the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan period and development direction[J]. China Petroleum Exploration, 2022,27(3):27-37.
- [7] 何治亮,关晓东,陈本池,等.创新驱动支撑中国石化上游高质量可持续发展[J].石油科技论坛,2021,40(2):8-15.  
He Zhiliang, Guan Xiaodong, Chen Benchu, et al. Innovation fuels high-quality and sustainable development of Sinopec upstream sector[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2021,40(2):8-15.
- [8] 蔡勋育,刘金连,张宇,等.中国石化“十三五”油气勘探进展与“十四五”前景展望[J].中国石油勘探,2021,26(1):31-42.  
Cai Xunyu, Liu Jinlian, Zhang Yu, et al. Oil and gas exploration progress of Sinopec during the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan period and prospect forecast for the 14<sup>th</sup> Five-Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(1):31-42.
- [9] 孟卫工.辽河高成熟探区持续勘探发现技术及应用[J].特种油气藏,2020,27(6):1-11.  
Meng Weigong. Continuous exploration and discovery technology and application in Liaohe high mature exploration area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020,27(6):1-11.
- [10] 孟卫工.富油气拗陷深化勘探做法和体会[J].中国石油勘探,2005,10(4):10-15.  
Meng Weigong. Practice and experience made in deepening exploration of petroleum-rich depression[J]. China Petroleum Exploration, 2005,10(4):10-15.
- [11] 袁选俊,谯汉生.渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J].石油与天然气地质,2002,23(2):130-133.  
Yuan Xuanjun, Qiao Hansheng. Exploration of subtle reservoir in prolific depression of Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2002,23(2):130-133.
- [12] 程磊,徐旭辉,邹元荣,等.中国东部部分富油断陷盆地增储潜力与勘探对策[J].石油实验地质,2013,35(2):202-206.  
Cheng Zhe, Xu Xuhui, Zou Yuanrong, et al. Reserve growth potential and exploration measures of oil rich faulted



- basins in eastern China[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013,35(2):202–206.
- [13] 张善文. “跳出框框”是老油区找油的关键[J]. *石油勘探与开发*, 2004,31(1):12–14.  
Zhang Shanwen. A key idea for finding oils in an area of high developed[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004,31(1):12–14.
- [14] 张善文. 成熟探区油气勘探思路及方法:以济阳凹陷为例[J]. *油气地质与采收率*, 2007,14(3):1–4.  
Zhang Shanwen. Exploration idea and method for mature exploration areas; taking Jiyang Depression as an example[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007,14(3):1–4.
- [15] 冯建辉, 蔡勋育, 牟泽辉, 等. 中国石油化工股份有限公司“十二五”油气勘探进展与“十三五”展望[J]. *中国石油勘探*, 2016,21(3):1–13.  
Feng Jianhui, Cai Xunyu, Mou Zehui, *et al.* Oil and gas exploration of China Petroleum and Chemical Corporation during the 12<sup>th</sup> Five-Year Plan and the prospect for the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016,21(3):1–13.
- [16] 金之钧, 蔡勋育, 刘金连, 等. 中国石油化工股份有限公司近期勘探进展与资源发展战略[J]. *中国石油勘探*, 2018,23(1):14–24.  
Jin Zhijun, Cai Xunyu, Liu Jinlian, *et al.* The recent exploration progress and resource development strategy of China Petroleum and Chemical Corporation[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018,23(1):14–24.
- [17] 宋明水, 王永诗, 李友强. 济阳凹陷油气精细勘探评价及实践[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(1):93–100.  
Song Mingshui, Wang Yongshi, Li Youqiang. Evaluation and practice of fine petroleum exploration in the Jiyang Depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(1):93–100.
- [18] 蔡勋育, 刘金连, 赵培荣, 等. 中国石化油气勘探进展与上游业务发展战略[J]. *中国石油勘探*, 2020,25(1):11–19.  
Cai Xunyu, Liu Jinlian, Zhao Peirong, *et al.* Oil and gas exploration progress and upstream development strategy of Sinopec[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020,25(1):11–19.
- [19] 宋明水, 王永诗, 李友强. 成熟探区“层勘探单元”划分与高效勘探[J]. *石油勘探与开发*, 2018,45(3):520–527.  
Song Mingshui, Wang Yongshi, Li Youqiang. Division of “layer exploration unit” and high-efficiency exploration in mature exploration area[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018,45(3):520–527.
- [20] 王永诗, 李友强. 胜利油区东部探区“十二五”中后期勘探形势与对策[J]. *油气地质与采收率*, 2014,21(4):5–10.  
Wang Yongshi, Li Youqiang. The exploration situation and countermeasures in the late 12<sup>th</sup> Five-Year Plan in the eastern area of Shengli Oilfield[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014,21(4):5–10.
- [21] 宋明水. 济阳凹陷勘探形势与展望[J]. *中国石油勘探*, 2018,23(3):11–17.  
Song Mingshui. The exploration status and outlook of Jiyang Depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018,23(3):11–17.
- [22] 吴群, 余文端, 骆卫峰, 等. 苏北盆地溱潼凹陷岩性油藏勘探成果及启示[J]. *中国石油勘探*, 2016,21(3):99–107.  
Wu Qun, Yu Wenduan, Luo Weifeng, *et al.* Achievements and recognitions of exploration in lithologic reservoirs in Qintong Sag, north Jiangsu Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016,21(3):99–107.
- [23] 宋明水, 王惠勇, 张云海. 济阳凹陷潜山“挤一拉一滑”成山机制及油气藏类型划分[J]. *油气地质与采收率*, 2019,26(4):1–8.  
Song Mingshui, Wang Huiyong, Zhang Yunhai. “Extrusion, tension and strike-slip” mountain-forming mechanism and reservoir type of buried hills in Jiyang Depression[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2019,26(4):1–8.
- [24] 王永诗, 李继岩. 济阳凹陷平方王油田碳酸盐岩潜山内幕储层特征及其主控因素[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2017,41(4):27–35.  
Wang Yongshi, Li Jiyan. Characteristics and main controlling factors of layered reservoir in buried hill of carbonate rock in Pingfangwang Oilfield, Jiyang Depression[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2017,41(4):27–35.
- [25] 蒋有录, 叶涛, 张善文, 等. 渤海湾盆地潜山油气富集特征与主控因素[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2015,39(3):20–29.  
Jiang Youlu, Ye Tao, Zhang Shanwen, *et al.* Enrichment characteristics and main controlling factors of hydrocarbon in buried hill of Bohai Bay Basin[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2015,39(3):20–29.
- [26] 马永生. 找油没有捷径:关于油气勘探的几点思考[J]. *石油实验地质*, 2020,45(5):662–669.  
Ma Yongsheng. There is no shortcut to find oil:some thoughts on oil and gas exploration[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020,45(5):662–669.
- [27] 刘惠民. 济阳凹陷页岩油勘探实践与前景展望[J]. *中国石油勘探*, 2022,27(1):73–86.  
Liu Huimin. Exploration practice and prospect of shale oil in Jiyang Depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2022,27(1):73–86.