

引用: 李国欣, 雷征东, 董伟宏, 等. 中国石油非常规油气开发进展、挑战与展望 [J]. 中国石油勘探, 2022, 27(1): 1-11.

Li Guoxin, Lei Zhengdong, Dong Weihong, et al. Progress, challenges and prospects of unconventional oil and gas development of CNPC[J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(1): 1-11.

# 中国石油非常规油气开发进展、挑战与展望

李国欣<sup>1</sup> 雷征东<sup>2</sup> 董伟宏<sup>1</sup> 王红岩<sup>2</sup> 郑兴范<sup>1</sup> 谭 健<sup>1</sup>

(1 中国石油勘探与生产分公司; 2 中国石油勘探开发研究院)

**摘 要:** 中国石油天然气集团有限公司 (简称中国石油) 非常规油气已经初步实现了规模化动用, 但相比于其丰富的资源量, 其产量仍具有极大的提升潜力。文章系统梳理了中国石油非常规油气“十三五”勘探开发进展, 展望“十四五”发展趋势, 分析了非常规油气效益开发所面临的主要挑战及关键问题, 并在此基础上提出推动中国石油非常规油气高效开发的对策。研究结果表明: (1) “十三五”期间, 以非常规油气为代表的低品位资源逐渐成为中国石油勘探开发的主体; (2) “十四五”期间, 非常规油气产量占比将进一步提升, 重点区域产能有望实现快速增长; (3) 非常规油气效益开发面临着技术、成本、管理及理念 4 个层面的挑战。针对上述挑战提出了六方面关键对策: (1) 正确看待非常规资源; (2) 推行“一全六化”工程管理理念与模式; (3) 完善管理规则与考核办法; (4) 充分利用大数据平台; (5) 有效推进市场化运作与社会化支持; (6) 制定非常规资源合理开发政策。通过采取以上措施, 将有望破解中国石油非常规油气效益开发难题, 为践行“能源的饭碗必须端在自己手里”贡献非常规力量。

**关键词:** 非常规油气; 开发进展; 发展规划; 全生命周期管理; 一全六化; 理念创新

**中图分类号:** TE122.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2022.01.001

## Progress, challenges and prospects of unconventional oil and gas development of CNPC

Li Guoxin<sup>1</sup>, Lei Zhengdong<sup>2</sup>, Dong Weihong<sup>1</sup>, Wang Hongyan<sup>2</sup>, Zheng Xingfan<sup>1</sup>, Tan Jian<sup>1</sup>

(1 PetroChina Exploration & Production Company; 2 PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development)

**Abstract:** The China National Petroleum Corporation Limited (CNPC) has preliminarily achieved the large-scale production of unconventional oil and gas. However, considering its abundant resources, the output still has great potential for improvement. The exploration and development progress of unconventional oil and gas of CNPC during the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan period is summarized, and unconventional oil and gas development trend in the 14<sup>th</sup> Five-Year Plan period is discussed. On this basis, the main challenges and key problems are analyzed, and strategies are put forward to promote the high-efficiency development of unconventional oil and gas of CNPC. The results show that: (1) During the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan period, CNPC has gradually focused on low-grade resources represented by unconventional oil and gas; (2) During the 14<sup>th</sup> Five-Year Plan period, the proportion of unconventional oil and gas production will further increase, and production capacity in key areas will grow rapidly; (3) Four aspects of challenges, such as the technology, cost, management and idea, are faced with high-efficiency development of unconventional oil and gas. In view of the above challenges, six key countermeasures are proposed: (1) Properly understand the unconventional resources; (2) Implement the engineering management concept and mode of “one engine with six drives”; (3) Improve management rules and assessment methods; (4) Fully use the big data platform; (5) Effectively promote market-oriented business operation and socialized services; (6) Formulate rational policies for unconventional resource development. The above measures will enable CNPC to promote the high-quality development of its unconventional oil and gas business and contribute to “ensuring the rice bowl of energy firmly in our own hands” by developing the unconventional oil and gas.

**Key words:** unconventional oil and gas, development progress, development planning, full life cycle management, one engine with six drives, concept innovation

基金项目: 国家自然科学基金“陆相页岩油注二氧化碳吞吐提高采收率机理研究”(51974356)。

第一作者简介: 李国欣 (1971—), 男, 山西忻州人, 硕士, 2005 年毕业于中国石油大学 (华东), 教授级高级工程师, 主要从事油气勘探开发管理与综合地质研究工作。地址: 北京市东城区东直门北大街 9 号, 邮政编码: 100007。E-mail: guoxinli@petrochina.com.cn

收稿日期: 2021-06-15; 修改日期: 2021-06-21

## 0 引言

21 世纪以来, 全球范围内非常规油气藏勘探开发发展迅速, 并已经成为油气供应体系的重要组成部分。随着油气需求量的不断增加及常规油气占比的逐渐降低<sup>[1-8]</sup>, 非常规油气的有效动用对于缓解油气供需矛盾、保障我国能源安全、促进能源结构低碳转型、推动碳埋存具有十分关键的战略意义<sup>[9-11]</sup>。近年来, 国内外学者针对非常规油气开展了广泛而深入的研究<sup>[12-16]</sup>, 邹才能等<sup>[17]</sup>对非常规油气与常规油气的区别和联系进行了有益的探讨; Walsh 等<sup>[18]</sup>则阐明了美国非常规油气开发的经验与教训, 可为我国非常规油气的开发实践提供参考; 胡文瑞<sup>[19]</sup>在系统分析中国复杂油气藏成功开发经验后, 提出“地质工程一体化”是必由之路; 刘合等<sup>[20]</sup>提出页岩油勘探开发“点一线一面”方法论; 在此基础上, 李国欣等<sup>[21-23]</sup>提出了“一全六化”工程管理理念和非常规油气藏地质工程一体化的工作方法, 并基于玛湖致密砾岩开发形成了针对典型非常规油气藏的高效开发理论和关键技术。

但是, 由于非常规油气的开发时间相对较短<sup>[24]</sup>, 目前中国石油非常规油气的开发经验尚缺乏系统总结, 未来高效发展方向及应对方法还不明确, 这些问题已成为非常规油气藏效益开发的关键瓶颈。

针对上述问题, 本文以中国石油非常规油气“十三五”开发进展为切入点, 分析中国石油非常规油气“十四五”总体规划与重点区域规划部署, 探讨当前效益开发过程中所面临的主要挑战, 提出需解决的关键问题, 并简要阐明了中国石油在理念、管理、技术等诸多方面的主要对策, 为非常规油气藏的效益开发提供依据与指导。

## 1 非常规油气“十三五”开发进展

非常规石油主要包括致密油、页岩油、油页岩油; 非常规气主要包括页岩气、致密气、煤层气等<sup>[25]</sup>。

“十三五”期间, 以非常规油气为代表的低品位资源逐渐成为中国石油勘探开发的主体, 非常规原油与天然气分别占新增油气探明储量的 70% 及 90% 以上 (如图 1 所示, 本文图表所列数据均来自中国石油统计年鉴及最新的资源评价结果)。

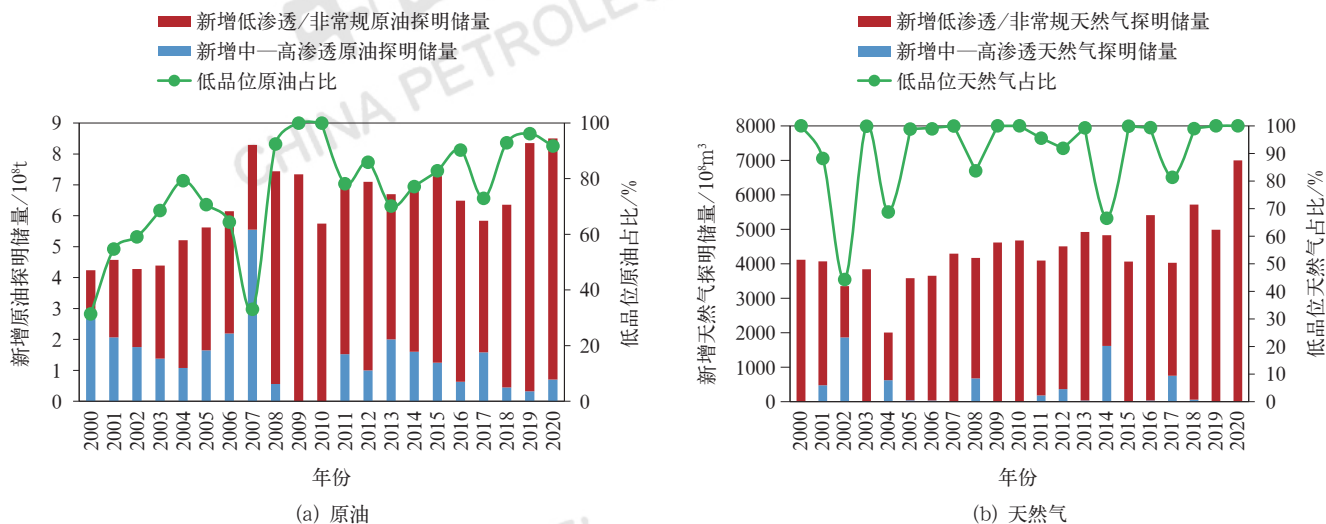


图 1 中国石油新增油气探明储量组成结构

Fig.1 Composition of new proven oil and gas reserves of CNPC

我国非常规油气藏资源量丰富, 陆上页岩油资源量达  $283 \times 10^8 \text{t}$ , 其中, 中国石油矿权区页岩油资源量达  $201 \times 10^8 \text{t}$ , 占 71%。此外, 中国石油矿权区致密油资源量达  $138.8 \times 10^8 \text{t}$ , 页岩气、致密气及煤层气资源量分别为  $46.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、 $19.96 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、 $13.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ , 主要分布情况见表 1。经过近 10 年持

续探索攻关, 鄂尔多斯、四川、松辽、准噶尔、渤海湾、三塘湖、柴达木等盆地非常规油气获得突破, 截至 2020 年底, 中国石油累计探明页岩油地质储量  $7.58 \times 10^8 \text{t}$ 、致密油地质储量  $27.58 \times 10^8 \text{t}$ 、页岩气地质储量  $1.1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、致密气地质储量  $2.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、煤层气地质储量  $0.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。

表 1 中国石油非常规油气资源量主要分布表

Table 1 Distribution of unconventional oil and gas resources of CNPC

类型	准噶尔盆地	三塘湖盆地	松辽盆地	柴达木盆地	四川盆地	鄂尔多斯盆地	渤海湾盆地
致密油 / $10^8\text{t}$	31.2	1.4	20.7	3.9	1.6	67.9	11
页岩油 / $10^8\text{t}$	25.1	3.9	54.5	5.9	20.2	60.5	27.4
致密气 / $10^{12}\text{m}^3$	0.15	—	2.25	0.13	2.87	12.56	0.42
页岩气 / $10^{12}\text{m}^3$	—	—	—	—	37.07	5.2	—
煤层气 / $10^{12}\text{m}^3$	3.11	0.32	—	—	0.60	2.55	—

非常规油气产能建设稳步推进,截至 2020 年底,页岩油完钻水平井 1200 余口,建成产能  $520 \times 10^4\text{t}$ ,主要集中在鄂尔多斯盆地的庆城油田和准噶尔盆地的吉木萨尔地区;致密油共完钻井近 2 万口,建成产能  $1698 \times 10^4\text{t}$ ,主要位于鄂尔多斯盆地延长组长 6

段、长 8 段,以及准噶尔盆地玛湖致密砾岩;页岩气、致密气及煤层气产能建设分别达  $243 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $481 \times 10^8\text{m}^3$  和  $18.2 \times 10^8\text{m}^3$  (图 2),主要分布在四川盆地古生界志留系—奥陶系、鄂尔多斯盆地上古生界。

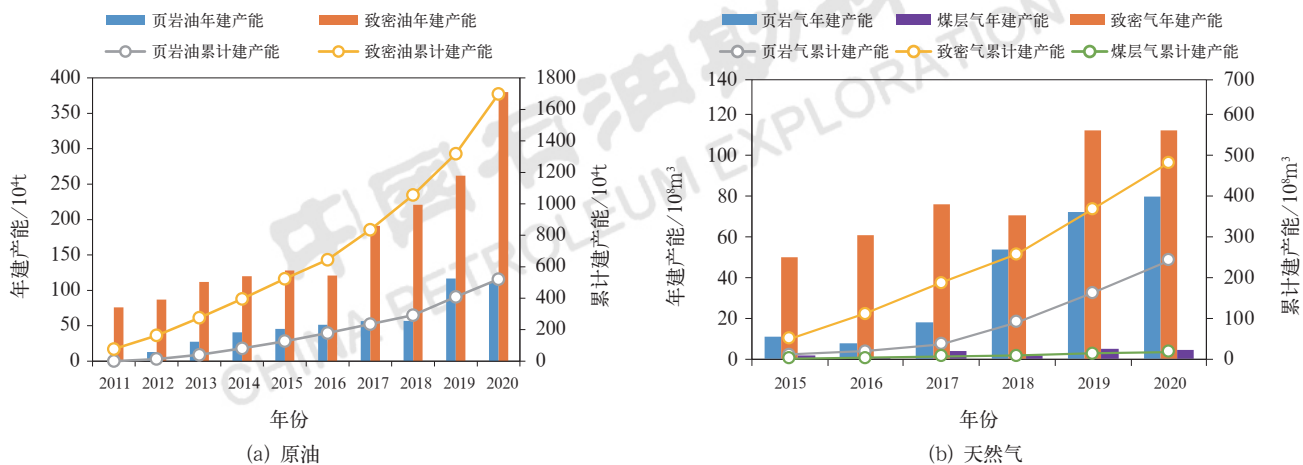


图 2 中国石油“十三五”非常规油气产能建设情况

Fig.2 Production capacity of unconventional oil and gas of CNPC in the 13th Five-Year Plan period

“十三五”期间,中国石油非常规油气产量快速攀升、占比扩大。截至 2020 年底,页岩油、致密油、页岩气、致密气和煤层气的年产量分别为  $186 \times 10^4\text{t}$ 、 $745 \times 10^4\text{t}$ 、 $116 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $333 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $23 \times 10^8\text{m}^3$ ,累计产量分别为  $593.6 \times 10^4\text{t}$ 、 $3472 \times 10^4\text{t}$ 、 $314 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $2948.7 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $149 \times 10^8\text{m}^3$  (图 3)。

中国石油非常规油气开发不仅伴随着“量”的增加,更是实现了“质”的提升。重点项目推进顺利、贡献凸显,四川盆地古生界志留系—奥陶系页岩气采用“控压配产”理念,平均单井最终可采储量 (EUR) 由  $0.9 \times 10^8\text{m}^3$  提升至  $1.2 \times 10^8\text{m}^3$ ;庆城油田页岩油通过开发方案优化,预测单井 EUR 由  $2.1 \times 10^4\text{t}$  增

加为  $2.6 \times 10^4\text{t}$ ;玛湖致密砾岩油藏玛 131 小井距试验区生产能力强劲,预计一次采收率将达到 25% 以上。

## 2 非常规油气“十四五”总体规划

展望“十四五”,中国石油预计新增探明储量的 70%、新建产能的 50% 以上来自非常规油气,非常规原油产量占比将由“十三五”末的 10% 提升至“十四五”末的 20%,非常规天然气产量占比将由 30% 增长至 50%。“十四五”期间,中国石油油气产量的增量部分将主要来自非常规资源,其中非常规原油与天然气产量分别比“十三五”末增长 2 倍和 3 倍,增长量远超油气总增量 (图 4)。

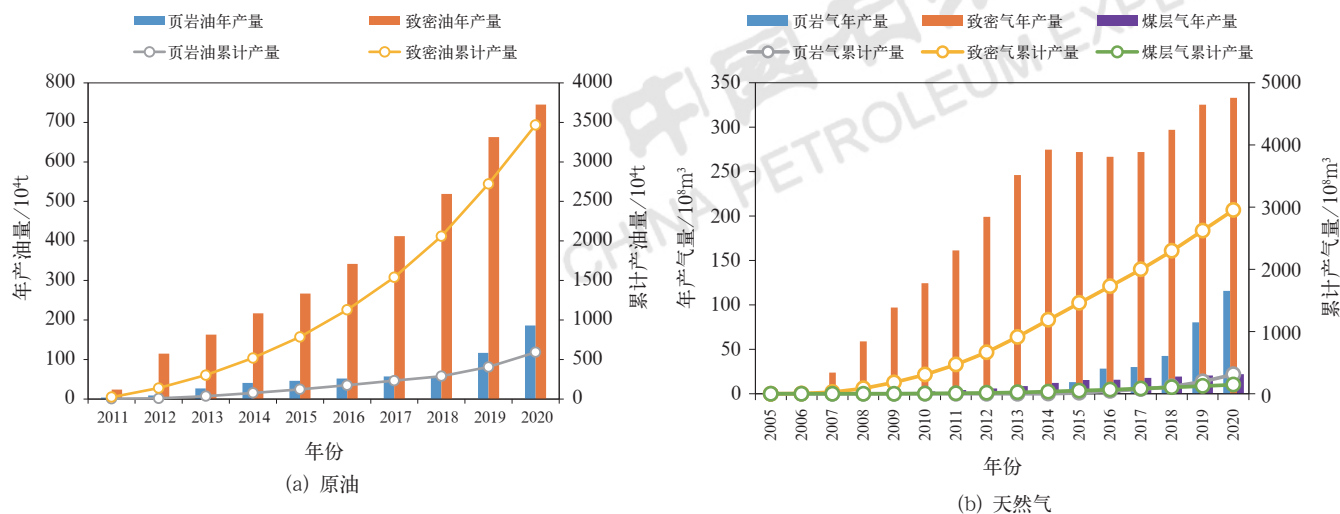


图3 中国石油非常规油气产量增长图

Fig.3 Production increase of unconventional oil and gas of CNPC over the years

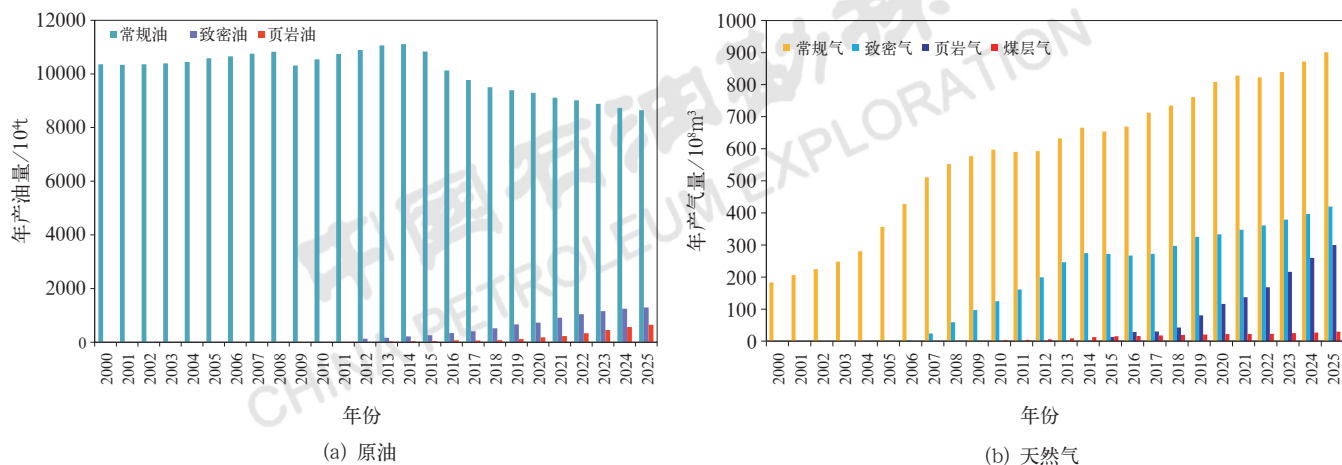


图4 中国石油非常规油气产量构成变化图

Fig.4 Composition change of unconventional oil and gas production of CNPC

页岩油方面,强化甜点评价技术和工程技术设计优化攻关,创新推进“一全六化”工程管理理念,预计新增探明储量 $15 \times 10^8 \text{t}$ ,动用储量 $7.5 \times 10^8 \text{t}$ ,新建产能 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 以上,钻井约2500口,2025年产量达到 $650 \times 10^4 \text{t}$ (图5a),45美元/bbl油价下努力实现效益开发,建成庆城( $350 \times 10^4 \text{t}$ )、古龙( $100 \times 10^4 \text{t}$ )、吉木萨尔( $200 \times 10^4 \text{t}$ 左右)等陆相页岩油国家级示范区。

致密油方面,攻关提高单井产量技术,大幅降低工程成本,预计新增探明储量 $15 \times 10^8 \text{t}$ ,动用储量 $12 \times 10^8 \text{t}$ ,新建产能 $1500 \times 10^4 \text{t}$ 以上,钻井近7000口,2025年产量达到 $1300 \times 10^4 \text{t}$ (图5b)。

非常规天然气方面,“十四五”期间页岩气预计

在川南中—深层(3500~4000m)探明或基本探明储量 $4 \times 10^{12} \text{m}^3$ ,新建产能 $350 \times 10^8 \text{m}^3$ ,完钻水平井2000余口,2025年产量达到 $(270 \sim 300) \times 10^8 \text{m}^3$ ,建成长宁、威远、昭通等页岩气开发国家级示范区(图6a);致密气在鄂尔多斯等区新增探明储量 $1.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ ,新建产能 $655 \times 10^8 \text{m}^3$ ,钻井近7000口,2025年产量达到 $(400 \sim 450) \times 10^8 \text{m}^3$ ,建设苏里格、神木、庆阳、宜川—黄龙等重点产区(图6b)。煤层气新增探明储量 $1100 \times 10^8 \text{m}^3$ ,新建产能 $21 \times 10^8 \text{m}^3$ ,钻井近2000口,2025年产量达到 $30 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

中国石油非常规原油及天然气开发进展及规划概要情况见表2。



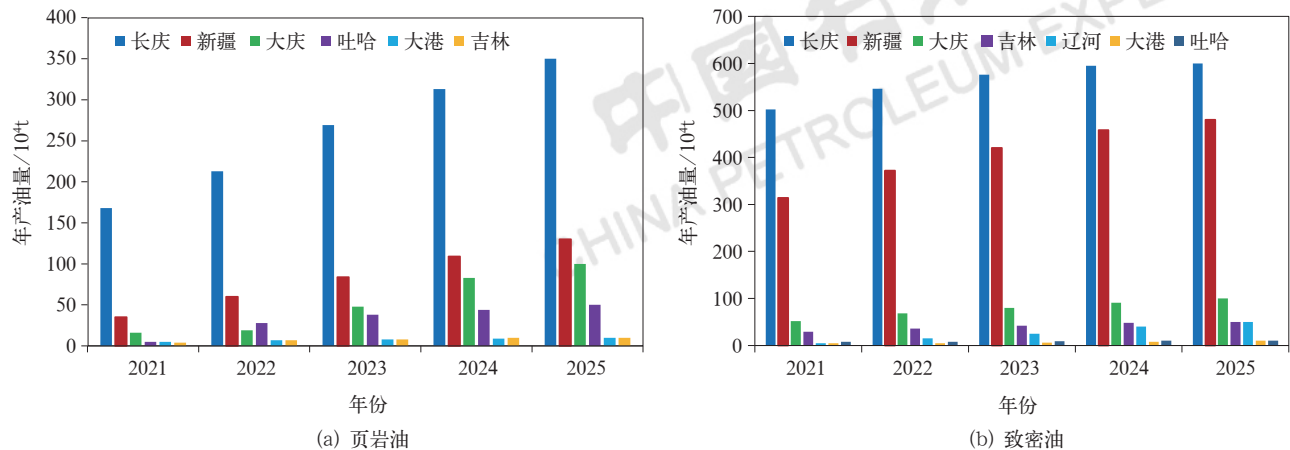


图 5 “十四五”期间中国石油主要油田非常规原油产量规划图

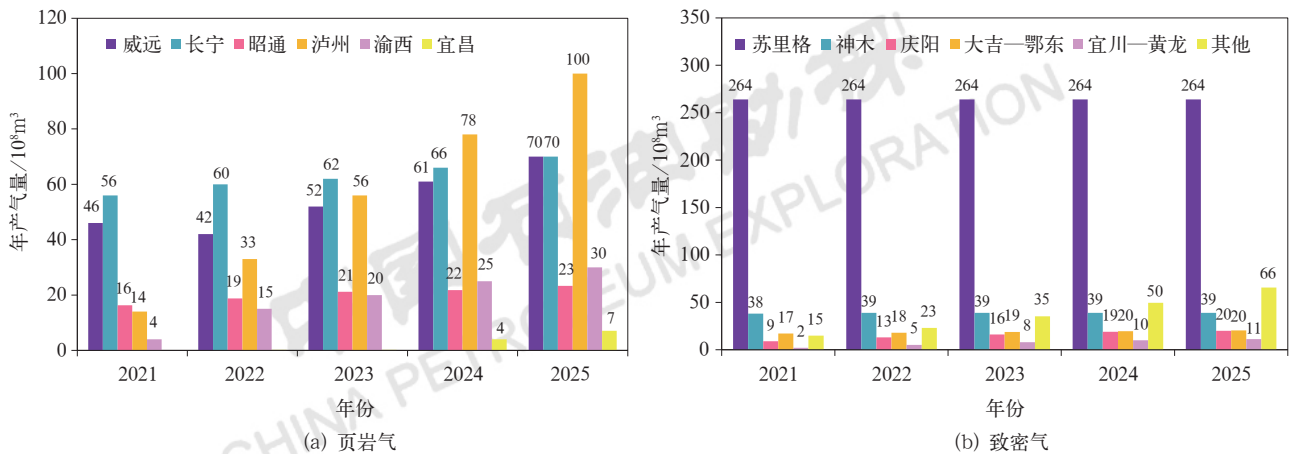
Fig.5 Unconventional oil production plan of main PetroChina oilfields in the 14<sup>th</sup> Five-Year Plan period

图 6 “十四五”期间中国石油主要油田非常规天然气产量规划图

Fig.6 Unconventional gas production plan of main PetroChina oilfields in the 14<sup>th</sup> Five-Year Plan period

### 3 非常规油气重点区域规划部署

#### 3.1 页岩油与致密油

“十四五”期间，中国石油将重点开发鄂尔多斯盆地庆城油田长 7 段页岩油、松辽盆地古龙页岩油及准噶尔盆地吉木萨尔页岩油等区域。

其中，庆城油田长 7 段页岩油规划部署水平井 1400 口左右，新建产能  $570 \times 10^4$  t 左右，预计 2025 年产油量达  $318 \times 10^4$  t，实现建成  $300 \times 10^4$  t 以上整装油田的目标（图 7a）。大庆油田古龙页岩油技术攻关强力开展，试采工作稳步推进，力争 2025 年产油量达到  $100 \times 10^4$  t（图 7b），准噶尔盆地吉木萨尔页岩油力争 2025 年目标产量为  $180 \times 10^4$  t，建立国家级示范区。此外，柴达木盆地英雄岭页岩油、渤海湾盆地沧

东页岩油也在开展攻关工作，预计将取得良好进展。

“十四五”期间，中国石油将重点推动长庆致密油及新疆玛湖致密油规模开发。其中，长庆致密油计划部署水平井 2300 口左右，新建产能  $630 \times 10^4$  t，预计 2025 年产油量达  $600 \times 10^4$  t（图 7c）。新疆玛湖致密油规划新建产能近  $700 \times 10^4$  t，预计 2025 年产油量达  $500 \times 10^4$  t（图 7d）。

#### 3.2 页岩气与致密气

“十四五”期间，中国石油规划中浅层页岩气产量保持  $150 \times 10^8$  m<sup>3</sup>，并推动泸州、渝西等重点区块深层攻关上产  $150 \times 10^8$  m<sup>3</sup>；同时，加快长庆致密气新区建设，通过推动庆阳、宜川—黄龙、米脂—绥德、青石砬等新区开发，新增致密气产量  $70 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。

表 2 中国石油典型区块非常规油气开发进展及规划简表  
Table 2 Unconventional oil and gas development progress and planning in typical exploration areas of CNPC

类型	页岩油				致密油			页岩气			致密气		煤层气	
	准噶尔盆地 吉木萨尔凹陷 芦草沟组	鄂尔多斯 盆地长7段	松辽盆地 古龙凹陷 青山口组	柴达木盆地 英雄岭地区 下干柴沟组	鄂尔多斯 盆地长6段、 长8段	准噶尔盆地 玛湖二叠系 乌尔禾组和 三叠系百口 泉组	松辽盆地 扶杨油层	长宁—威远	昭通	泸州	苏里格	神木		
典型盆地／凹陷／ 地区／层位	埋深 / m	1800～4500	1500～3000	2000～2600	2700～4100	1700～2350	1800～4500	1800～2400	2100～3500	1800～2800	3500～4000	2800～3500	2400～2560	350～1800
	压力系数	1.1～1.3	0.75～0.85	1.2～1.6	1.3	0.75～0.85	>1.5	1.2～1.58	1.6～2.1	1.3～2.1	1.91～2.25	0.8～0.96	0.88～0.95	0.6～0.9
	孔隙度 / %	5.5～19.84	6.0～12.0	5	7.6	10.6～12.2	2.0～13.0	3.4～16.0	4～7	3～7	1.9～7.1	8～11	6～11	3～8
	渗透率 / mD	0.0004～1.98	0.03～0.5	0.58	0.001～1	0.54～0.9	0.003～47.9	0.01～1.0	0.0007～ 0.00015	0.00005～ 0.0003	0.0002～ 0.0009	0.5～1	0.1～1	0.01～0.5
	含油（气） 饱和度 / %	70～98	65～85	65	45	55	70～98	40～80	55～65	53～63	40～82	50～65	59～65	70～90
“十三五” 阶段开发 现状	探明储量	7.58 × 10 <sup>8</sup> t				27.58 × 10 <sup>8</sup> t			1.1 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>			2.7 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>		0.7 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
	建成产能	520 × 10 <sup>4</sup> t				1698 × 10 <sup>4</sup> t			243 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>			481 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		18.2 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
	2020 年 产量	186 × 10 <sup>4</sup> t				745 × 10 <sup>4</sup> t			116 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>			333 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		23 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
	累计产量	593.6 × 10 <sup>4</sup> t				3472 × 10 <sup>4</sup> t			314 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>			2948.7 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		149 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
“十四五” 阶段开发 规划	新增探明 储量	15 × 10 <sup>8</sup> t				15 × 10 <sup>8</sup> t			4 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>			1.4 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>		0.11 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
	总动用 储量	7.5 × 10 <sup>8</sup> t				12 × 10 <sup>8</sup> t			3 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>			1.4 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>		0.07 × 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
	新建产能	1109 × 10 <sup>4</sup> t				1720 × 10 <sup>4</sup> t			350 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>			655 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		21 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
	新钻井 数量	2500 口				7000口			2000口			7000口		2000口
	2025 年 产量	650 × 10 <sup>4</sup> t				1300 × 10 <sup>4</sup> t			(270～300) × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>			(400～450) × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>		30 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>

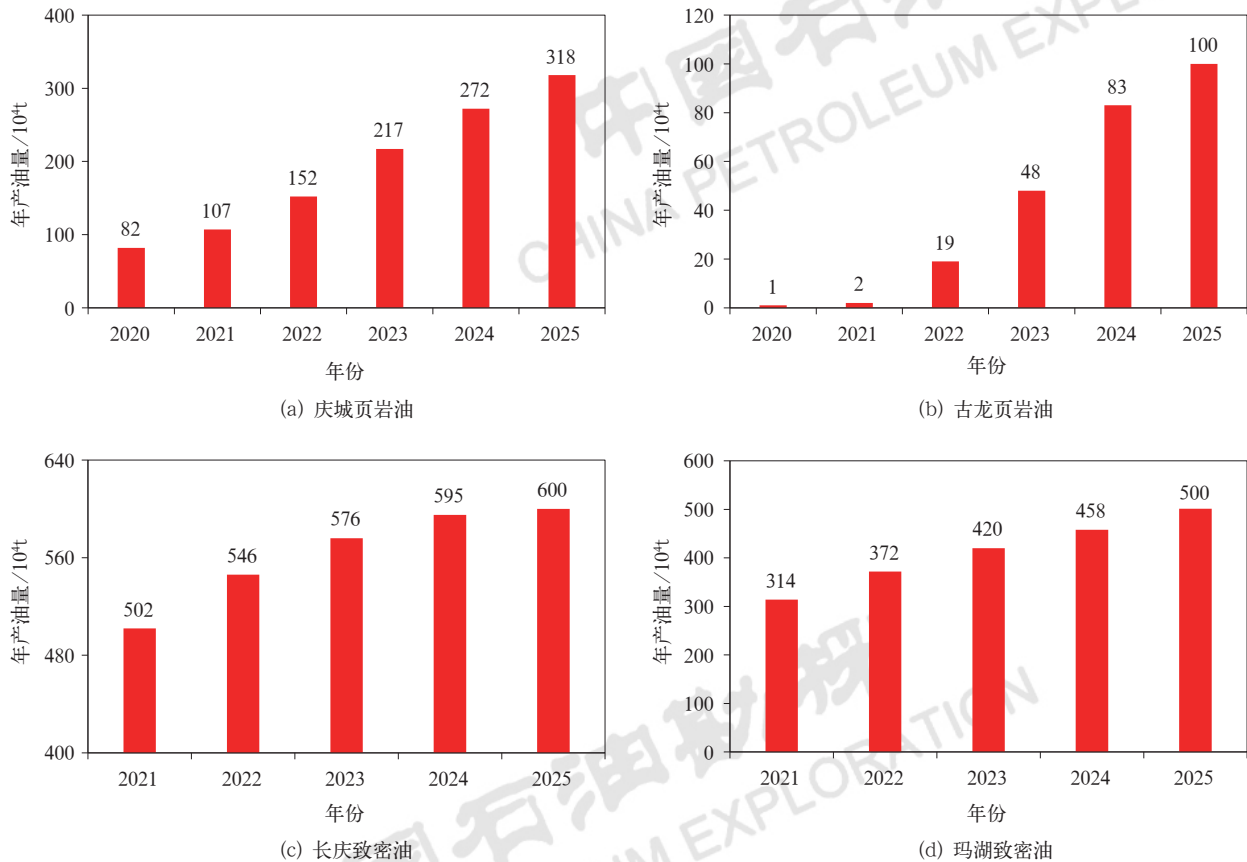


图 7 中国石油典型非常规油藏开发规划

Fig.7 Development planning of typical unconventional oil reservoirs of CNPC

## 4 非常规油气效益开发面临的挑战

中国石油非常规油气开发虽然已经取得阶段性成果，但要实现“十四五”规划目标，开发仍面临着技术、成本、管理及理念四大挑战。

### 4.1 技术挑战

技术挑战主要包括以下 4 个方面：一是陆相页岩油岩性多样，纵横向非均质性强，甜点主控因素复杂，制约了甜点的定量表征和评价，“甜点区”与“甜点段”分级评价标准有待完善；二是精细导向工具的研发滞留，大平台水平井优快钻井技术有待突破，提高储层钻遇率、降低钻井周期的需求迫切；三是非均质储层体积改造与纯页岩型压裂适配性技术还需进一步发展，尚不满足增大改造体积和大幅度提高单井产量的需要；四是非常规油气控制递减率的合理开发参数选择和提高采收率技术还有待突破，需开展举升工艺优化、二氧化碳吞吐等先导性试验，以提高单井 EUR，尽可能提高采收率。

### 4.2 成本挑战

与北美相比，由于我国非常规油气藏地质条件复杂，且开发技术与管理模式仍在探索完善中，现阶段我国非常规油气开发成本总体高于北美地区。以页岩油为例，我国主要页岩油的完全成本（油气生产过程中进入当期损益的成本）为 60~90 美元/bbl，远高于美国巴肯页岩油开发成本（平均 30 美元/bbl），与效益开发尚有明显差距。因此，我国非常规油气的效益开发必须在降低成本上下功夫。但值得注意的是，成本挑战仅仅是一种表象，需要通过积极应对其他几个层面的挑战以实现成本问题的解决。

### 4.3 管理挑战

北美实践证明，对于非常规油气，以勘探开发一体化和地质工程一体化<sup>[26-31]</sup>为主要内容的“一体化”管理模式是行之有效的<sup>[32-33]</sup>，而我国目前仍然沿用传统石油行业“接力式”的勘探开发阶段划分、整体开发方案（ODP）编制理念及审批制度，

严重不适应非常规油气认识快速迭代、及时调整的需求。

#### 4.4 理念挑战

参与建设的各方（无论是油公司还是服务公司、无论是工程承包商还是产品供货商）均存在仅从自身角度出发思考问题、组织生产的现象，没有形成系统管理理念，没有实现系统工程学<sup>[34]</sup>所强调的“保证最少的人力、物力和财力，在最短的时间内达到系统的目的”的终极目标。

值得注意的是，上述四大挑战并不是相互割裂的，而是存在着紧密内在联系的，其中技术挑战是现状，成本挑战是表象，管理挑战是症结，理念挑战才是核心。只有解决理念问题才能理顺管理问题，理顺管理问题就会提高效率效益，从而解决成本挑战的表象问题。因此，需要采用系统工程学的思路、变革性的举措，推进技术、管理、理念变革，尽快形成适应于我国非常规油气发展的新理念。

### 5 效益开发关键问题及对策

为应对非常规油气效益开发所面临的挑战，需要进一步关注以下6个角度的关键问题，并形成具体应对措施。

#### 5.1 正确看待非常规资源

在相当长的一段时间内，非常规油气被视为不具备开发价值的资源。但近10年的探索表明，北美鹰潭（Eagle Ford）页岩油<sup>[35-38]</sup>在当前主体工艺技术条件下，通过方案优化，局部区块预测一次采收率可达到35%，桶油完全成本为30美元左右，开发效果良好，经济效益极佳；玛湖玛131区块致密油通过创新井网井距及水平段部署模式，采用“大井丛、多层系、小井距、长水平段、交错式、密切割、拉链式、工厂化”方式进行开发，储量动用及采收率大幅提升，投产1年多以来，平均日产油23.1t，首年采出程度为9.2%，预测一次采收率从11.4%提高到27%以上。通过实践表明，非常规不代表低效益，非常规不代表低采收率，没有不能开发的资源，只有不适应的手段。对于我国当前资源现状来说，非常规油气是必须面对的最现实的资源，无法选择资源品位，能够选择的只有积极转变观念，强化技术攻关<sup>[39]</sup>，努力攻克技术与经济瓶颈，实现非常规油气效益开发。

#### 5.2 实现“一全六化”工程管理理念

作为提升非常规油气勘探开发规模及效率的关键，“一全六化”工程管理理念的核心是围绕“全生命周期管理”，设计上一体化统筹、实施中专业化协同、组织上市场化运作、辅助保障上社会化支持、生产运行上数字化管理、全生命周期实现绿色化发展。具体实施过程中，油公司的主体和主导作用，是实现“一全六化”的关键。例如，降低桶油成本的前提是甲方的精细设计和高效组织，甲方若采用部署更加集约化、规模化的大井丛平台化布井和工厂化施工设计，将有利于保障乙方在同一区块获得规模工作量，有利于技术的集成应用，有利于工厂化施工组织，也有利于“学习曲线”的快速形成，最终实现提速提效、综合降本、和谐双赢。

#### 5.3 通过创新管理规则与调整考核办法实现高效开发

全生命周期管理是系统工程学在油气领域的具体实践，是非常规资源高效动用最有效的组织模式，要点是以边界清晰的区块单独设置项目，通过采用“项目单设、投资单列、方案单审、成本单核、产量单计、效益单评、严格考核、严格兑现”的机制，在项目测算时，将评价部署、方案设计、产能建设、生产运行、管控优化等过程一体化管理，实现全生命周期评价，真正实现“事前算盈、事中干赢、事后真赢”。

同时，对于非常规油气藏开发周期长、投资见效慢的特点，现有的管理规则与考核办法存在诸多不适，难以满足年度考核需要。因此，需要根据非常规油气藏的特点，推进全生命周期考核办法。

#### 5.4 充分利用大数据平台实现高质量发展

让数据说话，用数据决策，是非常规资源科学高效动用的显著特点。数据平台的有效建设，就是认识积累、学习曲线不断迭代进步的过程，高质量大数据平台是实现地质工程一体化的前提和基础<sup>[40]</sup>，应充分利用大数据平台，将各专业数据、成果、知识等信息统一管理，打破信息壁垒，强化数据共享和应用分析，率先在重点项目上推进实施，打通底层数据平台，实现信息和经验共享，做到油田生产全面感知、自动生产、实时优化、预测预警、协同研究、一体运营、智能决策，优化生产运行、持续提质增效。



### 5.5 有效推进市场化运作与社会化支持

市场化是全球油气行业最普遍、最现实、最高效的组织模式。对于非常规油气全生命周期项目而言，可以按照“同等条件内部优先，价格差异价优者得”的原则，采用市场的方式组织生产力，通过市场对资源的配置来激发各种要素的活力，为了实现成本递减、利润递增，甲乙双方可以采用多种方式激励创新与创效，如对成本结余的参与人员和服务商设立奖励资金。油公司要树立“不搞大而全、小而全”“今天的投资就是明天的成本（折旧）”“能用成本绝不用投资”的理念，从买装备变为买服务、从买产品变为买服务、从全自主变为尽量依托社会；辅助保障实行社会化支持，让专业的人干专业事，可以实现控投降本。庆城页岩油、吉木萨尔项目通过推进市场化运作和社会化支持，有效控降了成本，保障了项目的效益开发。

### 5.6 合理制定非常规油气开发的支持政策

非常规等低品位资源的规模有效开发离不开国家政策的支持与引导，连续稳定的优惠政策有利于投资者信心的建立。比如，加拿大政府规定，非常规项目在投资回收之前矿费（royalty）按销售量的5%征收，待投资回收之后再按销售量的25%征收，这一政策大大减轻了企业负担，使之可以快速收回投资。此外，政府还规定，如果业主在钻井过程中有应用新技术或探索新层系等积极举措，矿费还可以继续打折优惠征收，通过这些规定，一般情况下，矿费可以再减少1%~2%。由于开发初期年产量高，矿费征收率低，并且通过工程指标的优化能进一步获得矿费优惠，这一举措极大地调动了项目投资者的热情，推动实现更优化的工程设计指标。

非常规油气勘探开发具有初期投入高、技术要求高、地质风险高、综合成本高、投资回收期长的特点。同时，我国非常规油气有利区地质条件复杂、工程挑战巨大，以及我国非常规油气对于保障能源安全、优化能源结构、带动区域经济发展的重要作用，迫切需要政府在产品价格、税费等方面制定支持政策。

上述6个角度的问题覆盖了非常规油气开发的各层面、各环节，对这些问题的有效解决是破解非常规油气效益开发难题的关键之匙，也应成为我国石油行业“非常规时代”的重点攻坚方向。因此，只有紧紧围绕“技术进步提单产、管理创新提效率”两条主线，

深入推进“一全六化”工程理念，强力推进地质工程一体化，才能适应“常非并举”新挑战、打好“稳油增气”新战役，才可满足高质量发展新要求，开启保障国家能源安全新征程。

## 6 结论

(1) 中国石油非常规油气资源丰富，“十三五”期间已在鄂尔多斯、四川、松辽、准噶尔、渤海湾、三塘湖、柴达木等盆地实现了勘探开发的突破，非常规油气产能建设稳步推进，产量快速攀升，重点项目进展顺利，总体开发效益持续提升。

(2) 根据中国石油“十四五”期间总体规划，油气产量的增量部分将主要来自非常规资源，非常规原油与天然气产量分别比“十三五”末增长2倍和3倍，建成庆城、古龙、吉木萨尔、玛湖、长宁、威远等国家级示范区。

(3) 为实现“十四五”规划目标，中国石油非常规油气开发仍需解决技术、成本、管理及理念4个方面的挑战。只有解决理念这个核心问题才能优化管理模式、促进技术革新、降低开发成本，为非常规油气的效益开发提供保障。

(4) 针对非常规油气开发过程中的观念、理念、管理、理论及技术、市场、政策等多方面问题，应建立以重构“非常规”认知模式、践行“一全六化”工程理念、创新管理规则与考核办法、利用大数据平台、推进市场化运作、制定合理支持政策等为核心内容的一系列革新举措，有效推动非常规油气迈上效益开发之路。

## 参考文献

- [1] 焦方正. 非常规油气之“非常规”再认识[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(5):803-810.  
Jiao Fangzheng. Rerecognition of “unconventional” in unconventional oil and gas[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(5):803-810.
- [2] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理, 地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6):641-653.  
Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, et al. Geological characteristics formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6):641-653.
- [3] 胡文瑞, 鲍敬伟. 石油行业发展趋势及中国对策研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2018, 42(4):1-10.  
Hu Wenrui, Bao Jingwei. Development trends of oil industry and China's countermeasure[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2018, 42(4):1-10.

- [4] 马永生, 冯建辉, 牟泽辉, 等. 中国石化非常规油气资源潜力及勘探进展[J]. 中国工程科学, 2012,14(6):22-30.  
Ma Yongsheng, Feng Jianhui, Mu Zehui, *et al.* The potential and exploring progress of unconventional hydrocarbon resources in Sinopec[J]. Strategic Study of CAE, 2012,14(6):22-30.
- [5] 邹才能, 潘松圻, 赵群. 论中国“能源独立”战略的内涵、挑战及意义[J]. 石油勘探与开发, 2020,47(2):416-426.  
Zou Caineng, Pan Songqi, Zhao Qun. On the connotation, challenge and significance of China's "energy independence" strategy[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(2):416-426.
- [6] 谢玉洪, 蔡东升, 孙晗森. 中国海油非常规气勘探开发一体化探索与成效[J]. 中国石油勘探, 2020,25(2):27-32.  
Xie Yuhong, Cai Dongsheng, Sun Hansen. Exploring and the effect of exploration and development integration in unconventional gas of CNOOC[J]. China Petroleum Exploration, 2020,25(2):27-32.
- [7] 李鹭光, 何海清, 范士芝, 等. 中国石油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):1-10.  
Li Luguang, He Haiqing, Fan Tuzhi, *et al.* Oil and gas exploration progress and upstream development strategy of CNPC[J]. China Petroleum Exploration, 2020,25(1):1-10.
- [8] 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.
- [9] 吴奇, 胥云, 王晓泉, 等. 非常规油气藏体积改造技术: 内涵、优化设计与实现[J]. 石油勘探与开发, 2012,39(3):352-358.  
Wu Qi, Xu Yun, Wang Xiaoquan, *et al.* Volume fracturing technology of unconventional reservoirs: connotation, optimization design and implementation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(3):352-358.
- [10] 胡文瑞. 中国石油非常规油气业务发展与展望[J]. 天然气工业, 2008, 28(7):5-7, 129-130.  
Hu Wenrui. Development and potential of unconventional reservoirs in China national petroleum corporation[J]. Natural Gas Industry, 2008,28(7):5-7, 129-130.
- [11] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术: 兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2013,40(4):385-399.  
Zou Caineng, Zhang Guosheng, Yang Zhi, *et al.* Volume fracturing technology of unconventional reservoirs: connotation, optimization design and implementation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013,40(4):385-399.
- [12] 翟光明. 关于非常规油气资源勘探开发的几点思考[J]. 天然气工业, 2008,28(12):1-3.  
Zhai Guangming. Speculations of the exploration and development of unconventional hydrocarbon reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2008,28(12):1-3.
- [13] 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, 2020,42(5):18-25.  
Ma Yongsheng. There is no shortcut to find oil: some thoughts on oil and gas exploration[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2020,42(5):18-25.
- [14] 邹才能, 潘松圻, 荆振华, 等. 页岩油气革命及影响[J]. 石油学报, 2020,41(1):1-12.  
Zou Caineng, Pan Songqi, Jing Zhenhua, *et al.* Shale oil and gas revolution and its impact[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(1):1-12.
- [15] 吴奇, 胥云, 张守良, 等. 非常规油气藏体积改造技术核心理论与优化设计关键[J]. 石油学报, 2014,35(4):706-714.  
Wu Qi, Xu Yun, Zhang Shouliang, *et al.* The core theories and key optimization designs of volume stimulation technology for unconventional reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4):706-714.
- [16] 胡文瑞, 翟光明, 李景明. 中国非常规油气的潜力和发展[J]. 中国工程科学, 2010,12(5):25-29.  
Hu Wenrui, Zhai Guangming, Li Jingming, *et al.* Potential and development of unconventional hydrocarbon resources in China[J]. Strategic Study of CAE, 2010,12(5):25-29.
- [17] 邹才能, 陶士振, 白斌, 等. 论非常规油气与常规油气的区别和联系[J]. 中国石油勘探, 2015,20(1):1-16.  
Zou Caineng, Tao Shizhen, Bai Bin, *et al.* Differences and relations between unconventional and conventional oil and gas[J]. China Petroleum Exploration, 2015,20(1):1-16.
- [18] Walsh K B, Haggerty J H, Jacquet J B, *et al.* Uneven impacts and uncoordinated studies: a systematic review of research on unconventional oil and gas development in the United States[J]. Energy Research & Social Science, 2020, 66(1):101-156.
- [19] 胡文瑞. 地质工程一体化是实现复杂油气藏效益勘探开发的必由之路[J]. 中国石油勘探, 2017,22(1):1-5.  
Hu Wenrui. Geology-engineering integration - a necessary way to realize profitable exploration and development of complex reservoirs[J]. China Petroleum Exploration, 2017,22(1):1-5.
- [20] 刘合, 李国欣, 姚子修, 等. 页岩油勘探开发“点—线—面”方法论[J]. 石油科技论坛, 2020,39(2):1-5.  
Liu He, Li Guoxin, Yao Zixiu, *et al.* "Point-Line-Area" methodology of shale oil exploration and development[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020,39(2):1-5.
- [21] 李国欣. 油公司高效发展的必由之路: 浅论“一全六化”管理理念[C]. 第五届地质工程一体化论坛, 2021.  
Li Guoxin. The only way for efficient development of oil companies - a brief discussion on the management concept of "one whole and six modernization" [C]. Fifth Geological Engineering Integration Forum, 2021.
- [22] 李国欣, 王峰, 皮学军, 等. 非常规油气藏地质工程一体化数据优化应用的思考与建议[J]. 中国石油勘探, 2019,24(2):147-152.  
Li Guoxin, Wang Feng, Pi Xuejun, *et al.* Optimized application of geology-engineering integration data of unconventional oil and gas reservoirs[J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(2): 147-152.
- [23] 李国欣, 覃建华, 鲜成钢, 等. 致密砾岩油田高效开发理论认识, 关键技术与实践: 以准噶尔盆地玛湖油田为例[J]. 石油勘探与开发, 2020,27(6):123-135.  
Li Guoxin, Qin Jianhua, Xian Chenggang, *et al.* Theoretical understandings, key technologies and practices of tight conglomerate oilfield efficient development: a case study of the Mahu Oilfield, Junggar Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020,47(6):1275-1290.

- [24] Kim I. Swinging shale: shale oil, the global oil market, and the geopolitics of oil[J]. *International Studies Quarterly*, 2020, 64(3):544–557.
- [25] 李国欣, 朱如凯. 中国石油非常规油气发展现状、挑战与关注问题[J]. *中国石油勘探*, 2020, 25(2):1–13.  
Li Guoxin, Zhu Rukai. Progress, challenges and key issues of unconventional oil and gas development of CNPC[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(2):1–13.
- [26] 吴奇, 梁兴, 鲜成钢, 等. 地质—工程一体化高效开发中国南方海相页岩气[J]. *中国石油勘探*, 2015, 20(4):1–23.  
Wu Qi, Liang Xing, Xian Chenggang, *et al.* Geoscience production integration ensures effective and efficient south China marine shale gas development[J]. *China Petroleum Exploration*, 2015, 20(4):1–23.
- [27] 杨向同, 郑子君, 张杨, 等. 地质工程一体化在应力敏感型致密储层产能预测中的应用: 以库车西部某区块为例[J]. *中国石油勘探*, 2017, 22(1):61–74.  
Yang Xiangtong, Zheng Zijun, Zhang Yang, *et al.* Application of geology–engineering integration in productivity prediction for stress sensitive tight reservoir: a case study of block in western Kuqa[J]. *China Petroleum Exploration*, 2017, 22(1):61–74.
- [28] 刘涛, 石善志, 郑子君, 等. 地质工程一体化在玛湖凹陷致密砂砾岩水平井开发中的实践[J]. *中国石油勘探*, 2018, 23(2):90–103.  
Liu Tao, Shi Shanzhi, Zheng Zijun, *et al.* Application of geology–engineering integration for developing tight oil in glutenite reservoir by horizontal wells in Mahu Sag[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(2):90–103.
- [29] 谢军, 鲜成钢, 吴建发, 等. 长宁国家级页岩气示范区地质工程一体化最优关键要素实践与认识[J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(2):174–185.  
Xie Jun, Xian Chenggang, Wu Jianfa, *et al.* Optimal key elements of geoenvironment integration in Changning National Shale Gas Demonstration Zone[J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(2):174–185.
- [30] 刘乃震, 王国勇, 熊小林. 地质工程一体化技术在威远页岩气高效开发中的实践与展望[J]. *中国石油勘探*, 2018, 23(2):59–68.  
Liu Naizhen, Wang Guoyong, Xiong Xiaolin. Practice and prospect of geology–engineering integration technology in the efficient development of shale gas in Weiyuan block[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(2):59–68.
- [31] Meng J, Nie H, Mo B, *et al.* Risk spillover effects from global crude oil market to China's commodity sectors[J]. *Energy*, 2020, 202(5):108–117.
- [32] 邱晔, 王立新, 钟进, 等. 基于系统工程的一体化构型管理[J]. *中国信息化*, 2020, 310(2):52–55.  
Qiu Xi, Wang Lixin, Zhong Jin, *et al.* Integrated configuration management based on system engineering[J]. *China Information*, 2020, 310(2):52–55.
- [33] 蔡丽丽. 建设项目全生命周期风险管理[J]. *现代职业安全*, 2012(2):87–89.  
Cai Lili. Life cycle risk management of construction project[J]. *Modern Occupational Safety*, 2012(2):87–89.
- [34] 钱学森. 论系统工程[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.  
Qian Xuesen. Study on systems engineering [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007.
- [35] Moussa T, Dehghanpour H, Fu Y, *et al.* The use of flowback data for estimating dynamic fracture volume and its correlation to completion–design parameters: Eagle Ford cases[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2020, 195:107584.
- [36] Cudjoe S E, Gha H Farokhi R B, Goldstein R H, *et al.* An integrated workflow to characterize lower Eagle Ford shale for hydrocarbon gas huff–n–puff simulation[J]. *Fuel*, 2021, 289:119854.
- [37] Holliman J, Schade G W. Comparing permitted emissions to atmospheric observations of hydrocarbons in the Eagle Ford shale suggests permit violations[R]. 2021.
- [38] Lee S Y, Mallick B K. Bayesian hierarchical modeling: application towards production results in the Eagle Ford shale of south Texas[J]. *Sankhya Series B*, 2021(1–2):1–14.
- [39] 刘合, 匡立春, 李国欣, 等. 中国陆相页岩油完井方式优选的思考与建议[J]. *石油学报*, 2020, 41(4):489–496.  
Liu He, Kuang Lichun, Li Guoxin, *et al.* Considerations and suggestions on optimizing completion methods of continental scale oil in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2020, 41(4):489–496.
- [40] 付锁堂, 石玉江, 丑世龙, 等. 长庆油田数字化转型智能化发展成效与认识[J]. *石油科技论坛*, 2020, 207(5):13–19.  
Fu Suotang, Shi Yujiang, Chou Shilong, *et al.* Achievements from digital transformation and intelligent development of Changqing Oilfield[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2020, 207(5):13–19.