

勘探战略规划中的油气资源配置方法研究

许华明, 程 喆, 洪太元, 石 磊, 章 朋

中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要:在油气勘探战略规划研究中,需要综合分析不同区带的勘探形势、资源基础、工程技术条件,确立未来一个时期资源接替序列、油气勘探重点和发展目标。通过不同区带勘探现状、勘探潜力进行定量计算,建立了一种勘探战略规划中的资源配置方法。该方法首先建立了包含资源探明程度、探井密度、三维地震覆盖密度等 3 个关键参数的勘探现状指数公式,对当前的勘探状态进行定量计算;其次建立了勘探潜力定量评价公式,综合纳入了反映勘探状态的阶段探明速度、资源潜力、工程技术适应性等参数;最后将勘探现状指数与勘探潜力指数置于统一评价平台,建立了勘探现状指数和勘探潜力指数交会图版,形成了 8 个油气资源配置区,按照勘探状态对比定策略、潜力定量评价定目标的思路,确立了一个时期内油气勘探发展重点与勘探部署时序,满足了不同区带间状态明确、潜力定量、技术可行的资源配置需求。该评价方法具有普适性、评价结果具有唯一性的特点。

关键词:勘探现状指数;勘探潜力指数;油气资源配置方法;勘探部署策略

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

Petroleum allocation method for exploration strategic planning

XU Huaming, CHENG Zhe, HONG Taiyuan, SHI Lei, ZHANG Peng

Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China

Abstract: During petroleum exploration strategic planning and study, it is necessary to comprehensively analyze on exploration status, resource basis and engineering technology conditions of various plays, in order to determine resource replacement sequence, petroleum exploration focus and development targets in the future. According to quantitative calculation on exploration status and potential of different plays, a resource allocation method in exploration strategic planning was established. In this method, an exploration status index formula for three key parameters, namely, resource proven degree, exploration well density and 3D seismic coverage density was firstly constructed for quantitative calculation on current exploration status. Secondly, a quantitative evaluation formula for exploration potential was established and incorporated comprehensively with some parameters like interim proven speed that reflected exploration status, resource potential and engineering technologic adaptability. Finally, exploration status index and potential index were put in unified evaluation platform in order to construct a cross plot for these two indexes, and then eight petroleum resource allocation areas were formed. According to the thinking of the strategy defined by the comparison on exploration status and the target by quantitative potential evaluation, petroleum exploration and development focus and exploration allocation sequence in certain period were determined to meet resource allocation requirement on clear status, quantitative potential and feasible technology for various plays. This evaluation method has the characteristics of universality and unique evaluation result.

Key words: exploration status index; exploration potential index; petroleum resource allocation method; exploration strategy

石油工业自发布实施发展规划或纲要以来,经历了 10 次五年规划的编制,已经形成了一套成熟的发展规划编制方法^[1-3],发布了一系列的编制规范或标准(SYT 5714-95 和 SYT 5966-94),明确规范了执行情况总结分析、地质基础研究、资源评价

和新技术、新方法研究等内容的编写。在勘探潜力评价方面,分为石油和天然气计算推测资源量、潜在资源量、预测储量、控制储量、探明储量,并进行评价,通过建立资源储量序列来确定勘探潜力^[4-16]。这种方法虽然可以定量计算某一勘探目

标或区带的勘探潜力,但对于勘探程度不同或者资源丰度不同的区带之间对比,只能通过经验定性判断来确定不同区带的勘探部署时序。由于勘探部署决策人员对所有探区占有资料的不同以及对不同探区油气勘探发现规律的认识差异,不能在同一个层面上对所有区带的勘探潜力进行系统评价优选,可能得到完全不同的勘探部署次序,从而影响勘探部署决策的科学性,因此有必要建立一种客观的定量计算方法对规划目标进行排队。

在勘探现状、勘探潜力和工程技术适应性等单个参数的定量评价方面,国内学者做了很多有益的研究^[17-18],但没有对3个参数的整体潜力进行评价。笔者综合考虑勘探现状、勘探潜力和工程技术适应性等3个重要参数,形成一种定量评价勘探潜力方法,建立了一种统一资源配置图版,可以对不同区带之间的勘探次序进行综合排队。其中,勘探现状通过勘探现状指数表征,包含了探明程度、探井密度、三维地震覆盖密度等因素;勘探潜力通过勘探潜力指数表征,包含了反映资源潜力的资源储量序列、反映勘探状态的阶段探明速度、反映新技术新方法的工程技术适应性等因素。该方法技术思路是综合考虑所辖区带资源及储量序列、所处勘探阶段、工程技术适应性来确定不同区带的勘探潜力,以便在同一平台下进行勘探潜力统一论证优选。

1 勘探现状指数

研究中采用了渤海湾、塔里木、准噶尔、鄂尔多斯、东海陆架盆地以及其他富油凹陷的68个区带的样本。由于地质条件、资源赋存、勘探工作难易程度等差异,各个区带勘探工作程度很不均衡,总体上东部勘探程度高,西部勘探程度低。具体到区带,或探井密度大,或三维地震覆盖程度高,难以横向对比,需要找到一种统一的评判标准,来确定不同凹陷(区带)的勘探状态。

目前,针对油气勘探现状的研究,通常根据探井密度、三维地震覆盖密度来划分出高勘探程度、

中高勘探程度、中等勘探程度和低勘探程度4个阶段。对于油气勘探状态定量评价方法,国内学者提出了一种计算方法,很好地解决了区带之间的横向对比,可以用来对比不同区带之间的勘探状态,从而确定各区带资源探明速度。

利用资源探明程度、探井密度、三维地震覆盖密度3个参数求取勘探现状指数。3个参数均采用归一化处理(探井密度、三维地震覆盖密度取最高的区带为基准值1,其他区带按比例计算,所有区带值可归一化,最大值为1),在对各参数系数优化的基础上,建立了勘探现状指数计算公式(式1)。通过该公式可得到不同区带勘探状态统一评价的无量纲量化指数。公式如下:

$$I_p = \frac{\sqrt{R_{np}^2 + (0.7F_{nw} + 0.3F_{ns})^2}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

式中: I_p 为勘探现状指数,无因次; R_{np} 为资源探明程度,无因次; F_{nw} 为探井密度,口/km²; F_{ns} 为三维地震覆盖密度,km²/km²(式中的权系数根据近年来全国几大油公司探井投资和物探投资比确定,探井投资:物探投资≈0.7:0.3)。根据勘探现状指数,结合石油地质基本条件及油气富集规律的认识程度综合分析,将勘探程度划分为四类。高勘探程度阶段勘探现状指数大于0.5,中高勘探程度阶段勘探现状指数为0.25~0.5,中等勘探程度阶段勘探现状指数为0.1~0.25,低勘探程度阶段勘探现状指数小于0.1(表1)。根据2011—2020年各区带新增储量以及勘探进展进行统计分析^[19-22],确定了不同勘探阶段对应的探明速度。

2 勘探潜力指数

对于勘探潜力,通常采用探明程度、勘探阶段、剩余资源及剩余资源丰度、资源序列来综合分析油气勘探潜力。国内学者在勘探潜力定量计算方法上做过一些有益的尝试,根据保有控制储量、保有预测储量、圈闭资源量、推测资源量来计算同一盆

表1 我国部分油气勘探区带勘探现状指数判识

Table 1 Identification on exploration status index in some petroleum exploration areas in China

分类	勘探程度	勘探现状指数	区带/个	面积/10 ⁴ km ²	累计探明储量		阶段探明速度/%
					石油/10 ⁴ t	天然气/10 ⁸ m ³	
I	高	>0.5	10	3.21	55.23	5 901	0.2~0.5
II	中高	0.25~0.5	13	4.42	26.36	7 504	0.5~1.0
III	中等	0.1~0.25	24	13.09	4.18	8 417	0.5~1.3
IV	低	<0.1	21	17.14	1.17	2 921	0~0.5
合计			68	37.86	86.94	24 743	

地内不同凹陷的勘探潜力,但未考虑不同区带工程技术适应性及所处的勘探阶段,评价方法不适用于不同盆地、不同勘探阶段的多个区带的统一潜力评价,由此导致在资源配置、领域接替上不能统一评价论证,从而影响发展目标与发展重点的选择。

为解决不同区带间横向对比的问题,建立了一种勘探潜力定量评价方法。将反映资源潜力的资源储量序列、反映勘探状态的阶段探明速度、反映勘探难易程度的工程技术条件作为主要参数,建立勘探潜力定量评价方法,计算不同区带勘探潜力权重(%),从而确定各区带在不同情景规划中的增储贡献。公式如下:

$$P_{ni} = R_{zi} \frac{\sqrt{R_{mpi}^2 + R_{mi}^2}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

式中: P_{ni} 为勘探潜力指数,取值范围 $[0, 1]$,无因次; R_{mpi} 为根据所处勘探阶段的探明速度分级赋值,取值范围 $[0, 1]$,无因次; R_{mi} 为资源潜力, $R_{mi} = (a \times \text{保有控制} + b \times \text{保有预测} + c \times \text{潜在资源量} + d \times \text{推测资源量}) / \text{总预计升级储量}$,小数 a, b, c, d 为升级潜力系数,主要根据历史储量升级率和升级量来确定,综合权重为 1,归一化处理得到 R_{mi} ,无因次; R_{zi} 为工程技术适应性,无因次,根据不同区带目前理论认识程度和工程技术现状判断因子取值(表 2),根据公式(3)计算得到。

$$R_{zi} = \frac{\sqrt{0.4E_1^2 + 0.6E_2^2}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

式中: E_1 为关键技术因子,取值范围 $[0, 1]$,无因次; E_2 为地质认识因子,取值范围 $[0, 1]$,无因次。

根据计算得到的无量纲勘探潜力指数进行综合排队,即可在不同区带之间进行横向对比(表 3),降低了规划部署的不确定性。该指数的权重大小反映了不同区带年均增储潜力贡献比例,据此可明确未来加大勘探力度的发展重点。

表 3 我国部分石油天然气区带勘探潜力评价指数
Table 3 Evaluation index of exploration potential for some oil and gas plays in China

石油区带	勘探潜力指数权重/%	天然气区带	勘探潜力指数权重/%
A1	25.34	B1	20.0
A2	9.41	B2	16.5
A3	6.49	B3	15.1
A4	6.11	B4	14.6
A5	5.85	B5	10.0
A6	5.70	B6	5.3
A7	5.19	B7	5.2
A8	4.95	B8	3.7
A9	3.31	B9	3.0
A10	2.86	B10	3.0
...	
合计	100.00	合计	100.0

3 油气资源配置方法

一个区带的勘探状态和勘探潜力决定了下一步勘探思路,因此通过计算得到的勘探现状指数和勘探潜力评价指数的交会,可以建立 68 个样本增储潜力的资源配置图(图 1)。勘探现状指数采用定量评价结果,可将所有区带分为 4 个类别;勘探潜力指数采用统计方法,根据统计结果,勘探潜力评价指数大于 2.0%的区带贡献了 80%的增储潜力,因此选取 2.0%作为勘探潜力大小的分界线,可以将所有区带分为潜力大和潜力小两大类。两者交会,可以在图版上建立 8 个分区,图中的 8 个分区代表不同勘探策略。

根据以上勘探策略,按照勘探状态对比定策略、潜力定量评价定目标的思路,最终确立中长期发展重点及投资策略。东部富油凹陷主要分布在 I₁、II₁区,勘探程度高,以精细勘探和深入挖潜为主;西部区带主要分布在 III₁、IV₁区,勘探潜力大,适合加大勘探力度。天然气主要分布在 III₁、IV₁区,勘探程度普遍较低,勘探潜力大^[23];同时大力

表 2 工程技术适应性(R_{zi})影响因子赋值标准

Table 2 Assignment standards for impact factors of engineering technology adaptability (R_{zi})

影响因子	取值范围			
	[1, 0.75)	[0.75, 0.5)	[0.5, 0.25)	(0.25, 0]
关键技术 (E_1)	地表条件好且无施工限制;地下目标易于识别;地层可钻性好;测录试工程技术不受限	地表条件较好且无施工限制;地下目标较易识别;地层可钻性较好;测录试工程技术基本不受限	地表条件复杂或施工有限制;地下目标难于识别;地层可钻性较差;测录试工程技术受限较大	地表条件十分复杂或施工受限制;地下目标很难识别;地层可钻性非常差;测录试工程无法正常开展
地质认识 (E_2)	地质结构简单,受单一构造控制;地质认识成熟,勘探思路与方法适应	地质结构较复杂,构造活动中等;地质认识较成熟,勘探思路与方法较适应	地质结构复杂,构造活动较强;地质认识有待深化,勘探思路与方法有待完善	地质结构非常复杂,构造活动强烈;地质认识亟待深化,勘探思路与方法亟待形成

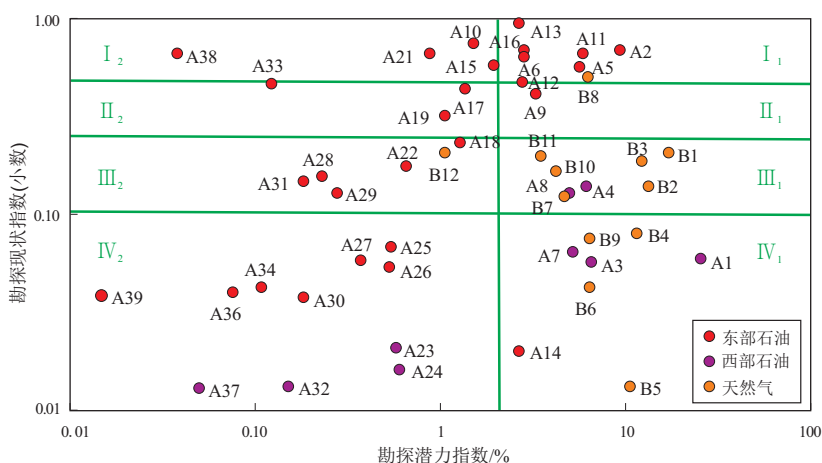


图1 我国部分重点增储潜力区带资源配置图版

I₁区.高勘探程度阶段,勘探潜力大,可适度加大三新领域勘探力度; I₂区.高勘探程度阶段,勘探潜力小,可维持适当投资,保持勘探节奏; II₁区.中高勘探程度阶段,勘探潜力大,可适度加大三新领域勘探力度; II₂区.中高勘探程度阶段,勘探潜力小,可维持适当投资,保持勘探节奏; III₁区.中等勘探程度阶段,勘探潜力大,可加大勘探突破和区带拓展力度; III₂区.中等勘探程度阶段,勘探潜力小,保持持续勘探; IV₁区.低勘探程度阶段,勘探潜力大,可加大风险勘探力度; IV₂区.低勘探程度阶段,勘探潜力小,保持持续探索

Fig.1 Resource allocation chart of some key potential plays for increasing reserves in China

发展天然气也符合国家未来碳减排和碳中和的发展形势,因此该区带是加大勘探的重点方向。

4 结论

(1)采用资源探明程度、探井密度、三维地震覆盖密度3个参数,通过归一化处理,综合建立了求取不同区带勘探现状指数的定量评价方法。

(2)将反映资源潜力的资源储量序列、反映勘探状态的阶段探明速度以及反映勘探难易程度的工程技术条件作为主要参数,建立勘探潜力定量评价方法,计算不同区带勘探潜力权重,从而确定各区带在不同情景规划中的增储贡献。

(3)根据勘探状态、勘探潜力定量评价结果,以四类勘探状态和两类勘探潜力,在二维图版交会,建立了具有8个分区的勘探潜力筛选图版,得到不同区带的所处分区。

(4)建立了处于不同分区的区带所采用的不同勘探策略,据此确立了未来勘探发展目标、发展重点及对应的勘探投资策略。东部富油凹陷勘探程度高,以精细勘探和深入挖潜为主;西部区带勘探潜力大,适合加大勘探力度;天然气各区带勘探程度普遍较低,勘探潜力大,同时大力发展天然气也符合国家未来碳减排和碳中和的发展形势,是加大勘探的重点方向。

参考文献:

[1] 方朝亮,撒利明,王雪松.规范科技发展规划编制方法支撑中国石油“十三五”科技发展规划编制[J].石油科技论坛,

2014,33(6):1-5.

FANG Chaoliang, SA Liming, WANG Xuesong. Standardize methods for formulation of science and technology development plan to support CNPC's science and technology development plan in 13th Five-Year Plan period[J]. Oil Forum, 2014, 33(6): 1-5.

[2] 唐玮,尹得来,冯金德,等.新形势下编制油气上游业务规划的思考[J].石油科技论坛,2019,38(3):1-5.

TANG Wei, YIN Delai, FENG Jinde, et al. Opinions on formulation of oil and gas upstream plans under new situation[J]. Oil Forum, 2019, 38(3): 1-5.

[3] 张军贤,张礼安,张震,等.中国石油集团战略规划管理体系创新与实践[J].国际石油经济,2019,27(3):81-89.

ZHANG Junxian, ZHANG Li'an, ZHANG Zhen, et al. Innovation and practice on the strategic planning management of CNPC[J]. International Petroleum Economics, 2019, 27(3): 81-89.

[4] 黄东,李育聪,刘敏,等.川中地区中侏罗统沙溪庙组一段油气藏特征及勘探潜力评价[J].中国石油勘探,2017,22(2):44-49.

HUANG Dong, LI Yucong, LIU Min, et al. Reservoir features and exploration potential of the 1st member of Shaximiao Formation of Middle Jurassic in central Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(2): 44-49.

[5] 孙建博,孙兵华,赵谦平,等.鄂尔多斯盆地富县地区延长组长7湖相页岩油地质特征及勘探潜力评价[J].中国石油勘探,2018,23(6):29-37.

SUN Jianbo, SUN Binghua, ZHAO Qianping, et al. Geological characteristics and exploration potential evaluation of Chang 7 lacustrine shale oil in Yanchang Formation, Fuxian area, Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(6): 29-37.

[6] 邹娟,金涛,李雪松,等.川东地区下侏罗统勘探潜力评价[J].中国石油勘探,2018,23(4):30-38.

ZOU Juan, JIN Tao, LI Xuesong, et al. Evaluation on exploration potentials of Lower Jurassic reservoirs in eastern Sichuan Basin[J].

- China Petroleum Exploration, 2018, 23(4): 30-38.
- [7] 王改卫, 张海义, 郭轩, 等. 黄河口凹陷古近系地层结构新认识与勘探潜力评价[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(5): 1-12.
WANG Gaiwei, ZHANG Haiyi, GUO Xuan, et al. Insights of Paleogene stratigraphic structure and evaluation of exploration potential of Huanghekou Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(5): 1-12.
- [8] 谷志宇, 刘恩涛, 王香增, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组七段页岩发育特征及勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2021, 28(1): 95-105.
GU Zhiyu, LIU Entao, Wang Xiangzeng, et al. Development characteristics and exploration potential of shale in Chang7 Member in Southeast of Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2021, 28(1): 95-105.
- [9] 李军. 致密油藏储量升级潜力不确定性评价方法及应用[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(3): 755-764.
Li Jun. Non-deterministic method for tight oil reserves upgrade potential assessment and its application[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(3): 755-764.
- [10] 石磊, 黄学斌, 刘景亮, 等. 保有石油预测储量升级潜力评价方法及升级策略[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 176-183.
SHI Lei, HUANG Xuebin, LIU Jingliang, et al. Evaluation of upgrading potential and strategy for inferred initially in-place petroleum[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 176-183.
- [11] 高荣杰. 齐家火山岩油藏特征及勘探潜力分析[J]. 特种油气藏, 2021, 28(1): 37-44.
GAO Rongjie. Analysis of the characteristics and exploration potential of volcanic hydrocarbon reservoir in Qijia Area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(1): 37-44.
- [12] 熊亮, 葛忠伟, 王同, 等. 川南寒武系筇竹寺组勘探潜力研究[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(1): 14-21.
XIONG Liang, GE Zhongwei, WANG Tong, et al. Exploration potential of Cambrian Qiongzhusi Formation in southern Sichuan Basin[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(1): 14-21.
- [13] 肖玉茹, 黄学斌, 李姝, 等. 基于量化不确定性的储量升级动用潜力评价方法[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 169-175.
XIAO Yuru, HUANG Xuebin, LI Shu, et al. A method for evaluating the potential of reserve upgrading based on quantitative uncertainty[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 169-175.
- [14] 苏映宏. 探明未开发储量可动潜力评价新方法及应用: 以 Y 油藏为例[J]. 石油实验地质, 2022, 44(2): 331-336.
SU Yinghong. A new method for the evaluation of the utilization potential of proved undeveloped reserves and its application: a case study of Y reservoir[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(2): 331-336.
- [15] 连志刚, 常智勇, 李路路, 等. 玛东地区二叠系火山岩成藏特征及勘探潜力[J]. 特种油气藏, 2022, 29(5): 57-65.
LIAN Zhigang, CHANG Zhiyong, LI Lulu, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics and exploration potential of Permian volcanic rocks in Madong area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2022, 29(5): 57-65.
- [16] 梁治国, 叶青, 张丹, 等. 开鲁盆地陆西凹陷早白垩世地层构造演化及勘探潜力[J]. 特种油气藏, 2022, 29(4): 69-75.
LIANG Zhiguo, YE Qing, ZHANG Dan, et al. Early Cretaceous stratigraphic evolution and exploration potential of Luxi Sag Kailu Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2022, 29(4): 69-75.
- [17] 方小东, 郭元岭, 胡兴中, 等. 油气勘探状态评价新方法[J]. 河南石油, 2005, 19(6): 6-8.
FANG Xiaodong, GUO Yuanling, HU Xingzhong, et al. New evaluation method of petroleum exploration[J]. Henan Petroleum, 2005, 19(6): 6-8.
- [18] 郭元岭. 油气勘探发展规律及战略研究方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 69-76.
GUO Yuanling. Development law and strategic research method of oil and gas exploration[M]. Beijing: China Petroleum Industry Press, 2010: 69-76.
- [19] 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): 14-25.
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): 14-25.
- [20] 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 12th Five-Year Plan and the prospect for the 13th Five-Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 1-13.
- [21] 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.
- [22] 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 13th Five-Year Plan period and prospect forecast for the 14th Five-Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(1): 31-42.
- [23] 郭旭升, 蔡勋育, 刘金连, 等. 中国石化“十三五”天然气勘探进展与前景展望[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 12-22.
GUO Xusheng, CAI Xunyu, LIU Jinlian, et al. Natural gas exploration progress of SINOPEC during the 13th Five-Year Plan and prospect forecast during the 14th Five-Year Plan[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 12-22.