

引用: 陈晓明, 杨涛, 梁坤, 等. 不同勘探类别油气发现成本评价方法及应用[J]. 中国石油勘探, 2021,26(3):88-94.

Chen Xiaoming, Yang Tao, Liang Kun, et al. Evaluation method and application of oil and gas discovery cost of different exploration categories[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(3):88-94.

不同勘探类别油气发现成本评价方法及应用

陈晓明 杨涛 梁坤 黄金亮 武娜 李志欣

(中国石油勘探开发研究院)

摘要: 为了解决传统油气发现成本评价方法无法确切反映石油预探、天然气勘探等不同类别油气勘探成效的问题, 基于不同勘探类别的油气发现成本评价方法被提出。该方法提出了基于不同勘探类别的共有6类12项参数的勘探成效指标体系。通过升级系数回归分析, 建立了石油天然气控制储量、预测储量与探明储量的关系模型, 构建了勘探权重储量序列。基于勘探权重储量序列及投资历史数据, 建立勘探权重发现成本序列。该方法可消除勘探节奏的随机波动和勘探发现的间隔性、滞后性影响, 为合理评价各勘探类别油气发现成本提供解决方案。不同勘探类别油气发现成本评价方法可应用于勘探计划的精细编制, 按照勘探类别进行从储量任务到投资的快速部署, 实现不同类别勘探投资的合理优化配置, 为石油公司应对低油价环境提供勘探决策技术支持。

关键词: 勘探成效; 发现成本; 评价方法; 部署决策; 勘探计划

中图分类号: TE122.13

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2021.03.008

Evaluation method and application of oil and gas discovery cost of different exploration categories

Chen Xiaoming, Yang Tao, Liang Kun, Huang Jinliang, Wu Na, Li Zhixin

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development)

Abstract: A new evaluation method of oil and gas discovery cost based on different categories of exploration is proposed in order to properly reflect the effectiveness of oil and gas exploration, i.e., oil exploratory and natural gas exploration, which can't be done by traditional methods. This new method covers an evaluation index system of exploration effectiveness, including twelve parameters of six categories based on different exploration categories. Firstly, relationship models of controlled, predicted and proven oil and gas reserves are established, and the weighted reserves sequence is constructed by regression analysis of reserve upgrade rate. Then the weighted discovery cost sequence is established based on the weighted reserves sequence and historical investment data. This method provides a solution for reasonable evaluation of oil and gas discovery cost of different exploration categories and eliminates the influence of fluctuating exploration rhythm and time span and lag of discovery, which can be applied to the fine preparation of exploration plan, and rapidly deploy from the reserves task to investment for different exploration categories, so as to optimally allocate the investment, and provide technical support for decision-making of oil companies at low oil price.

Key words: exploration effectiveness, discovery cost, evaluation method, deployment decision, exploration plan

基金项目: 国家油气重大专项“陆上油气勘探技术发展战略研究”(2017ZX05001005); 中国石油勘探开发研究院院级项目“基于数据库的一体化勘探规划技术”(YGJ2019-08)。

第一作者简介: 陈晓明(1986-), 男, 江苏太仓人, 硕士, 2012年毕业于中国石油勘探开发研究院, 工程师, 现主要从事油气勘探综合评价及大数据分析研究工作。地址: 北京市海淀区学院路20号910信箱, 邮政编码: 100083。E-mail: chximi@petrochina.com.cn

收稿日期: 2020-07-08; 修改日期: 2021-04-16

0 引言

近年来,国际油价持续低迷^[1-2]。低油价下国内石油企业主要采取控投、降本、科技创新等措施来缓解经营压力^[3-4]。上游勘探业务是石油公司降本增效的关键环节,通过高效勘探^[5-10],积极寻找油气新发现、落实规模效益储量,同时加强勘探成效评价,突出关键指标参数匹配关系研究^[7],优化投资结构和勘探计划方案。

勘探成效是广泛的概念,凡是分析勘探投资与勘探新增储量、储量品质和分布、勘探成功率等之间的关系^[11-12],皆为广义上的勘探成效分析。目前普遍使用“油气发现成本”(也称桶油发现成本)作为衡量油气勘探成效的综合指标^[13-16],是勘探成效分析最直观的指标,也是油气勘探计划编制过程中投资测算的依据。其定义为:油气勘探发现成本=油气勘探投资/油气勘探发现储量;油气勘探发现储量=探明油+探明气/1255;油气勘探投资=石油预探投资+天然气勘探投资+油藏评价投资,其中1255为油气当量换算系数。

目前,中国石油的油气勘探按照3个勘探类别进行组织管理,包括石油预探、油藏评价、天然气勘探。不同勘探类别提交的储量成果不同,通常石油预探提交原油控制储量、预测储量(二级储量),油藏评价提交原油探明储量,天然气勘探提交天然气探明储量、控制储量、预测储量(三级储量)^[17-18]。上述“油气发现成本”的定义以探明油气当量作为油气勘探发现

的储量成果,是对油气勘探整体成果和效益的反映,无法确切反映石油预探和天然气勘探等不同类别勘探所取得的成效,应用过程中也不利于将油气勘探计划落实到不同的勘探阶段。

因此,按照现行管理模式和年度计划设计框架,有必要提出一种能够合理反映不同勘探类别客观成效的评价方法及相应的指标体系,为精细制订勘探计划方案提供投资效益测算依据,实现各阶段储量—投资的科学配置。

1 评价方法

本文提出针对不同勘探类别的油气发现成本评价方法,该方法及其配套指标体系的建立分为以下3个步骤。

1.1 建立基于油气勘探类别的成效评价指标体系

本文提出“权衡储量”的概念,权衡储量是指将控制储量、预测储量按照一定的升级系数折算到探明储量,是用来衡量勘探发现储量成果的指标。“权衡发现成本”则是相应勘探投资与权衡储量的计算结果,是合理评价油气勘探成效的综合指标。“勘探类别”是根据勘探对象(油或气)和勘探阶段(预探、评价、勘探)而划分的类别组合(表1)。

将油气控制储量、预测储量按照一定升级比例折算到探明储量,就可以建立不同勘探类别的勘探成效权衡指标体系(表1),共6类12项参数。

表1 基于不同勘探类别的勘探成效权衡指标体系

Table 1 Evaluation index system of exploration effectiveness based on different exploration categories

序号	勘探类别	权衡储量	权衡发现成本
1	石油预探	石油预探权衡储量	石油预探权衡发现成本
2	天然气勘探	天然气勘探权衡储量	天然气勘探权衡发现成本
3	油藏评价	油藏评价权衡储量	油藏评价权衡发现成本
4	油气预探	油气预探权衡储量	油气预探权衡发现成本
5	石油勘探	石油勘探权衡储量	石油勘探权衡发现成本
6	油气勘探	油气勘探权衡储量	油气勘探权衡发现成本

注:储量为技术可采储量。

(1) 石油预探:

石油预探权衡储量 = F_p (石油控制储量, 石油预测储量) (1)

石油预探权衡发现成本 = 石油预探投资 / 石油预探权衡储量 (2)

式中 F_p ——石油控制储量、预测储量升级为探明储量的相关函数。

(2) 天然气勘探:

天然气勘探权衡储量 = 天然气探明储量 + F_g (天然气控制储量, 天然气预测储量) (3)

天然气勘探权衡发现成本 = 天然气勘探投资 / 天然气勘探权衡储量 (4)

式中 F_g ——天然气控制储量、预测储量升级为探明储量的相关函数。

(3) 油藏评价:

油藏评价权衡储量 = 石油探明储量 (5)

油藏评价权衡发现成本 = 油藏评价投资 / 油藏评价权衡储量 (6)

根据上述定义, 按照不同的勘探类别组合出相应的权衡指标参数。

(4) 油气预探 (石油预探 + 天然气勘探):

油气预探权衡储量 = 石油预探权衡储量 + 天然气勘探权衡储量 / 1255 (7)

油气预探权衡发现成本 = (石油预探投资 + 天然气勘探投资) / 油气预探权衡储量 (8)

(5) 石油勘探 (石油预探 + 油藏评价):

石油勘探权衡储量 = 石油预探权衡储量 + 油藏评价权衡储量 (9)

石油勘探权衡发现成本 = (石油预探投资 + 油藏评价投资) / 石油勘探权衡储量 (10)

(6) 油气勘探 (石油预探 + 油藏评价 + 天然气勘探):

油气勘探权衡储量 = 石油预探权衡储量 + 油藏评价权衡储量 + 天然气勘探权衡储量 / 1255 (11)

油气勘探权衡发现成本 = (石油预探投资 + 油藏评价投资 + 天然气勘探投资) / 油气勘探权衡储量 (12)

1.2 建立石油天然气控制储量、预测储量升级系数分析模型, 构建勘探权衡储量序列

权衡储量序列的建立需要通过以下步骤: (1) 收集储量数据, 分类清理转换; (2) 考虑控制储量、预测储量升级的时间滞后性, 进行移动平均处理; (3) 基于储量升级规律, 观测实际数据, 确定回归函数模型;

(4) 回归分析, 选取不同移动间隔区间的平滑数据进行拟合, 得到回归系数和回归常数; (5) 按照不同勘探类别的储量升级特点, 选取升级系数; (6) 建立勘探权衡储量序列。

通过业务分析和数据观察, 采用二元一次方程作为储量升级系数的函数模型, 可表示为

F_p (石油控制储量, 石油预测储量) = $ORC \times$ 石油控制储量 + $ORP \times$ 石油预测储量 (13)

F_g (天然气控制储量, 天然气预测储量) = $GRC \times$ 天然气控制储量 + $GRP \times$ 天然气预测储量 (14)

式中 ORC ——石油控制储量升级系数;

ORP ——石油预测储量升级系数;

GRC ——天然气控制储量升级系数;

GRP ——天然气预测储量升级系数。

本文选取 2000—2019 年的石油探明储量、控制储量、预测可采储量和天然气探明储量、控制储量、预测可采储量当量进行分析。按照 1 年 (不移动)、2 年、3 年、5 年间隔, 分别对石油、天然气控制储量和预测储量数据进行移动平滑处理, 通过新增探明储量与控制储量、预测储量的二元一次回归分析结果, 观察不同移动间隔拟合效果, 优选标准误差较小且符合业务特点的结果, 确定 ORC 、 ORP 及 GRC 、 GRP 。

(1) 石油控制储量、预测储量升级系数。

选取 3 年间隔拟合得到的石油权衡储量与实际探明储量标准误差较小, 相关度高 (表 2)。图 1 为石油控制储量、预测储量拟合的权衡储量序列图, 可见新增权衡储量与新增探明储量趋势较吻合。从表 2 可知, 石油控制储量升级系数为 0.6, 石油预测储量升级系数为 0.3, 由此推测石油预测储量升级到控制储量的系数为 0.5。石油勘探各阶段提交不同的储量类别, 逐级升级, 阶段性明显, 呈现规律的储量升级序列。

表 2 石油和天然气控制储量、预测储量升级系数表

Table 2 Coefficient of reserve upgrading from controlled and predicted reserves to proven reserves of oil and natural gas

石油	参数		天然气	参数	
	ORC	0.6		GRC	0.5
	ORP	0.3		GRP	0.3
	R^2	0.992		R^2	0.938
	标准误差	1141		标准误差	4809

注: R —储量的相关系数。

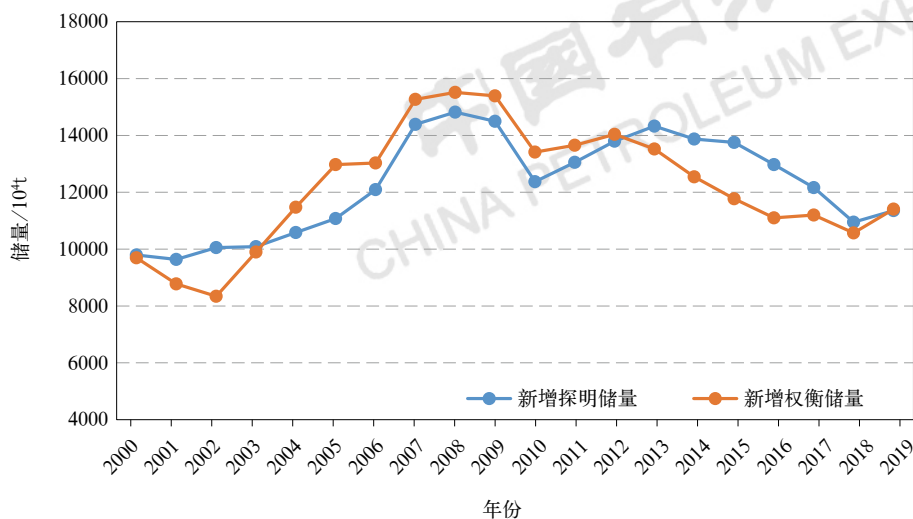


图1 石油权重储量与实际探明储量相关图

Fig.1 Correlation diagram between the weighted oil reserves and the actual proven reserves

(2) 天然气控制储量、预测储量升级系数。

回归结果表明,选取3年间隔拟合得到的天然气权重储量与实际探明储量标准误差较小(表2)。图2为天然气控制储量、预测储量拟合的权重储量序列图。从表2可知,天然气控制储量升级系数为0.5,天然气预测储量升级系数为0.3,则天然气预测储量升级到控制储量的系数为0.6,拟合结果与实际经验相符。天然气拟合相关性稍低于石油,表明天然气的一体化勘探特征更明显。

1.3 基于勘探权重储量序列及投资数据,建立勘探权重发现成本序列

勘探权重发现成本序列的建立包括以下步骤:(1)收集勘探投资历史数据,分类清理转换;(2)移动平均处理,以消除勘探节奏的间隔性、随机波动,对比不同移动区间的处理结果,选取最优化结果;(3)计算获得勘探权重发现成本序列。

为了更好地消除勘探投入和勘探发现的间隔性,

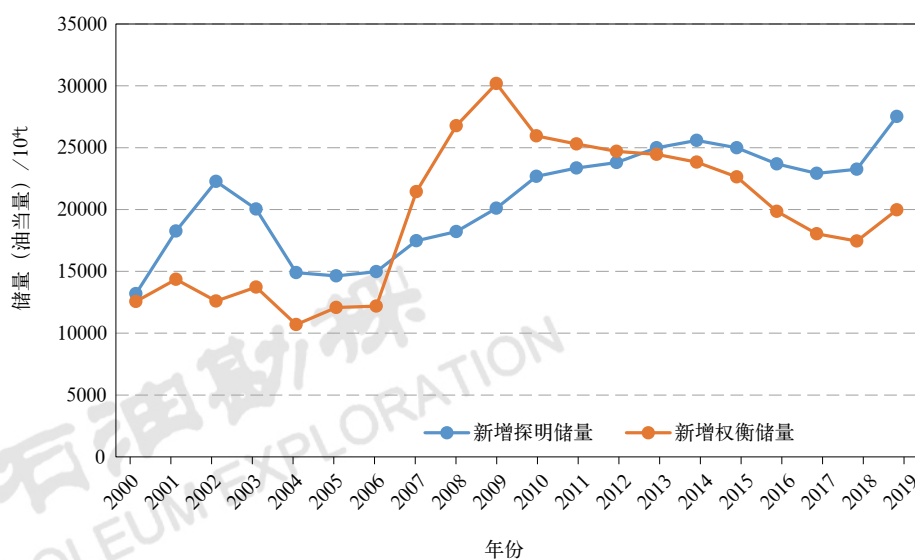


图2 天然气权重储量与实际探明储量相关图

Fig.2 Correlation diagram between the weighted gas reserves and the actual proven reserves

采用3年间隔进行移动平均处理，分类计算不同勘探类别的权衡发现成本（图3）。运用此方法得到的油气勘探权衡发现成本更能综合反映各勘探阶段的实际勘探成效。

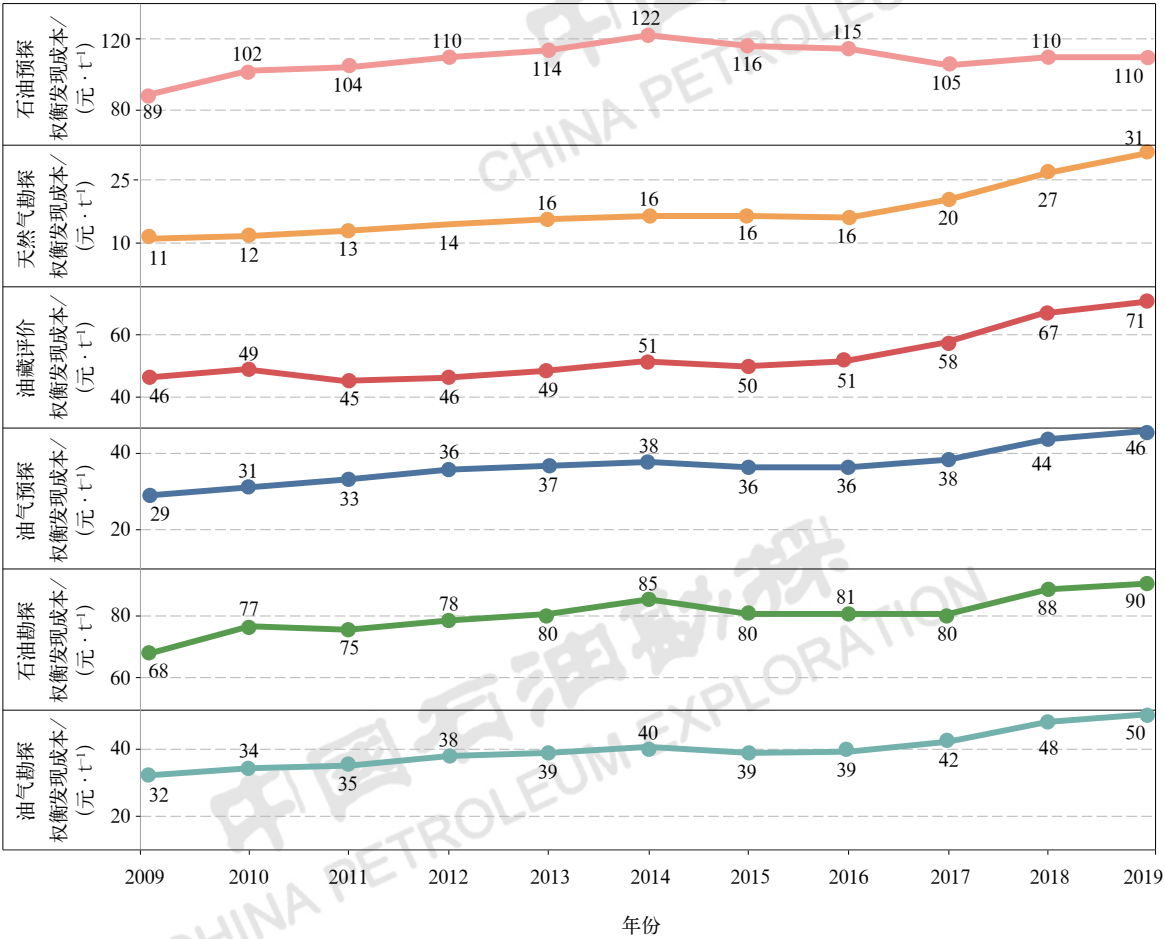


图3 油气勘探权衡发现成本序列图

Fig.3 Diagram of weighted discovery cost sequence of oil and gas exploration

2 方法应用

针对不同勘探类别的油气发现成本评价方法，可以应用于油气勘探规划和年度部署计划方案的编制，快速实现从储量任务到投资的部署决策。

如表3所示，首先确定计划方案的油气产量目标，按照一定的接替率（可通过历史数据统计获取探明储

量/产量、控制储量/探明储量、预测储量/控制储量等接替率指标），制定三级储量任务指标。根据公式(13)、公式(14)，并结合表2的升级系数，分类计算权衡储量序列（表4）。依据权衡发现成本序列（图3）测算计划年度权衡发现成本，如2019年计划方案可采用2018年对应的权衡发现成本，分别落实石油预探、天然气勘探和油藏评价的投资部署（表5、表6）。

表3 计划与完成三级储量对比参数表

Table 3 Comparison of planned and actual submitted three-level reserves

资源类型	指标参数	接替率	计划 /10 ⁶ t	完成 /10 ⁶ t	资源类型	指标参数	接替率	计划 /10 ¹⁰ m ³	完成 /10 ¹⁰ m ³
石油	产量	—	100	100	天然气	产量	—	10	11
	探明储量	1.2	120	120		探明储量	3.7	37	49
	控制储量	1.0	120	98		控制储量	1.2	44.4	32
	预测储量	1.1	132	220		预测储量	1.0	44.4	48

表 4 计划与完成权衡储量对比参数表
Table 4 Comparison of planned and actual weighted oil and gas reserves

储量指标	计划 /10 ⁶ t	完成 /10 ⁶ t	差额 /10 ⁶ t
石油预探权衡储量	111.6	124.8	13.2
天然气勘探权衡储量（油当量）	577.8	632.7	54.9
油藏评价权衡储量	120.0	120.0	0
油气预探权衡储量（油当量）	689.4	757.5	68.1
石油勘探权衡储量	231.6	244.8	13.2
油气勘探权衡储量（油当量）	809.4	877.5	68.1

表 5 计划与完成投资对比参数表
Table 5 Comparison of planned and actual investment

投资指标	测算计划 / 百万元	实际完成 / 百万元	差额 / 百万元
石油预探投资	12276.0	13287.7	1011.7
天然气勘探投资	15601.9	18014.6	2412.7
油藏评价投资	8040.0	8870.7	830.7
油气预探投资	27877.9	31302.3	3424.4
石油勘探投资	20316.0	22158.4	1842.4
油气勘探投资	35917.9	40173.0	4255.1

表 6 计划与完成权衡发现成本对比参数表
Table 6 Comparison of planned and actual weighted discovery cost

成本指标	测算计划 / (元 · t ⁻¹)	实际完成 / (元 · t ⁻¹)	误差 /%
石油预探权衡发现成本	110.0	103.5	-5.9
天然气勘探权衡发现成本	27.0	27.7	2.5
油藏评价权衡发现成本	67.0	71.8	7.2
油气预探权衡发现成本	44.0	40.2	-8.7
石油勘探权衡发现成本	88.0	88.0	0
油气勘探权衡发现成本	48.0	44.5	-7.3

通过此计划方案的当年实际完成数据进行检验，由表 3 的实际完成储量，计算得到完成权衡储量序列，对完成投资数进行通货膨胀校正（年通货膨胀系数取 1.029），进而获取计划当年完成权衡成本。由表 4 至表 6 可知，虽然完成数据呈现勘探节奏加快的特征

（投资和储量较计划增加），但采用移动平滑处理的成本序列测算的各勘探类别计划权衡发现成本与实际完成权衡发现成本之间平均误差仅为 5%，吻合度良好，证明了该方法的合理性，适用于目前勘探管理决策的实际情况。

3 结论

(1) 不同勘探类别油气发现成本评价方法有效解决了传统油气发现成本评价方法不能确切反映石油预探、天然气勘探等不同类别油气勘探成效的问题。该方法提出了基于不同勘探类别的勘探成效权衡指标体系, 包括 6 类 12 项参数。通过建立石油天然气控制储量、预测储量升级系数分析模型, 构建勘探权衡储量序列。基于勘探权衡储量序列及投资历史数据, 建立勘探权衡发现成本序列。该评价方法可消除勘探节奏的随机波动和勘探发现的间隔性、滞后性影响, 为合理评价各勘探类别油气发现成本提供解决方案。

(2) 不同勘探类别油气发现成本评价方法为制订勘探计划方案提供投资效益测算依据, 按照勘探类别实现从储量任务到投资的快速部署, 效果良好, 使不同类别勘探投资得到优化配置, 为石油公司应对低油价环境提供勘探决策技术支持。

参考文献

- [1] 中国石油勘探开发研究院. 全球油气勘探开发形势及油公司动态 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2019.
RIPED. Global petroleum E&D trends and company dynamics[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2019.
- [2] 王婧. 近期国际石油价格回顾与预测 [J]. 国际石油经济, 2020,28(5): 109-112.
Wang Jing. Recent international oil price review and forecast[J]. Petroleum Economics, 2020,28(5):109-112.
- [3] 张抗, 张立勤. 低油价的分析和对策 [J]. 中外能源, 2020,25(5):1-11.
Zhang Kang, Zhang Liqin. Analysis and countermeasures against low oil price[J]. Sino-Global Energy, 2020,25(5):1-11.
- [4] 徐东, 芮旭涛, 许慧文. 低油价周期国际石油公司资产剥离策略分析及借鉴启示 [J]. 中国能源, 2016,38(12):18-22,41.
Xu Dong, Rui Xutao, Xu Huiwen. International oil companies divestiture strategy analysis and reference in low oil price[J]. Energy of China, 2016,38(12):18-22,41.
- [5] 侯启军, 何海清, 李建忠, 等. 中国石油天然气股份有限公司近期油气勘探进展及前景展望 [J]. 中国石油勘探, 2018,23(1):1-13.
Hou Qijun, He Haiqing, Li Jianzhong, et al. Recent progress and prospect of oil and gas exploration by PetroChina Company Limited[J]. China Petroleum Exploration, 2018,23(1):1-13.
- [6] 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策略 [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.
- [7] 李国欣, 郭绪杰, 杜金虎, 等. 勘探对标管理指标体系模型研究及应用 [J]. 中国石油勘探, 2019,24(1):7-15.
Li Guoxin, Guo Xujie, Du Jinhu, et al. Research and application of the index system model of exploration benchmarking management[J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(1):7-15.
- [8] 王越, 姜钰, 王陆新, 等. 新形势下稳定我国石油行业发展思考与建
- 议 [J]. 石油科技论坛, 2020,39(4):16-25.
Wang Yue, Lou Yu, Wang Luxin, et al. Thinking and suggestions on how to stabilize China's oil industrial development under new situation[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020,39(4):16-25.
- [9] 许坤, 郑冬冬, 林爽. 促进中国油气勘探开发对策探讨 [J]. 石油科技论坛, 2019,38(6): 6-14.
Xu Kun, Zheng Dongdong, Lin Shuang. Discussion of countermeasures for promotion of China's oil and gas exploration and development[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2019,38(6):6-14.
- [10] 刘小兵, 边海光, 汪永华, 等. 全球油气勘探特点与启示 [J]. 石油科技论坛, 2019,38(6):43-47.
Liu Xiaobing, Bian Haiguang, Wang Yonghua, et al. Characteristics and suggestions of global oil and gas exploration[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2019, 38(6):43-47.
- [11] 孙和风, 姜雪, 沈水荣. 国际石油公司油气勘探成效与启示 [J]. 国际石油经济, 2020,28(3):36-43.
Sun Hefeng, Jiang Xue, Shen Shuirong. IOCs' oil and gas exploration effects and enlightenments[J]. International Petroleum Economics, 2020,28(3):36-43.
- [12] 石油地质勘探专业标准化委员会. 石油天然气勘探效益评价方法: SY/T 6041—1994[S]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
Petroleum Geology Exploratory Standardization Technology Committee. Evaluation method of oil and gas exploration benefit: SY/T 6041—1994[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [13] R E McGill, 胡朝元. 油气发现的成本计算问题 [J]. 国外油气勘探, 1983(3):10-16.
R E McGill, Hu Chaoyuan. Cost calculation of oil and gas discovery[J]. Oil and Gas Exploration Abroad, 1983(3):10-16.
- [14] 郑德鹏. 中外石油公司油气上游成本指标与成本变化对比分析 [J]. 国际石油经济, 2008(9):33-39,82.
Zheng Depeng. Upstream oil and gas cost indicators and changing costs: Chinese and foreign companies compared[J]. International Petroleum Economics, 2008(9):33-39,82.
- [15] 刘忻蕾, 王兆明, 史卜庆, 等. 2018 年全球油气勘探形势分析与启示 [J]. 国际石油经济, 2019,27(3):23-28.
Liu Xinlei, Wang Zhaoming, Shi Buqing, et al. Analysis and enlightenment of global oil and gas exploration in 2018[J]. International Petroleum Economics, 2019,27(3):23-28.
- [16] 刘鹏, 张厚和, 李春荣, 等. 中海油与国内外典型石油公司勘探关键指标对标分析 [J]. 中外能源, 2020,25(2):1-8.
Liu Peng, Zhang Houhe, Li Chunrong, et al. Benchmarking analysis of key exploration indexes between CNOOC and typical domestic and foreign oil companies[J]. Sino-Global Energy, 2020,25(2):1-8.
- [17] 赵政璋. 从勘探实践看地质家的责任 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
Zhao Zhengzhang. The Responsibility of geologists from the perspective of exploration practice[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012.
- [18] 杜金虎. 四川盆地二叠—三叠系礁滩天然气勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
Du Jinhu. Natural gas exploration of Permian-Triassic reef & oolite in Sichuan Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.