

成熟探区勘探综合分析方法探讨

——以济阳坳陷为例

郭元岭,杜振京,方旭庆,侯飞,董维武

(中国石化胜利油田分公司油气勘探管理中心,山东东营 257001)

摘要:介绍了济阳坳陷开展勘探综合分析的内容和做法。勘探部署方案优化,是通过细分勘探单元、构建勘探模式、明确钻探目的,选准勘探方向,综合风险评价、经济评价、投资规模等因素,提出勘探方案优化建议。勘探工作规律分析,有助于把握勘探工作运行特点及工作重点,提升勘探理论技术的适应性,从而提高勘探工作能力。勘探综合分析的目的是构建基础研究和决策管理之间的桥梁,有利于研究人员及时了解宏观动态,突出工作重点,也有利于管理人员全面掌握基础研究中的共性问题,提高管理水平。

关键词:成熟探区;油气勘探;综合分析;技术方法;济阳坳陷

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

Comprehensive analysis methods in a mature exploration area: Jiyang Depression case study

Guo Yuanling, Du Zhenjing, Fang Xuqing, Hou Fei, Dong Weiwu

(Oil and Gas Exploration Management Center, SINOPEC Shengli Oil Field Company, Dongying, Shandong 257001, China)

Abstract: Contents and methods of comprehensive analysis of the Jiyang Depression were introduced. We divided exploration units, established exploration models, made clear exploration purpose and direction, assessed exploration risks, estimated economic value and investment scale, and finally proposed some advice for optimization. The analysis of exploration operation regularity may help grasp the characteristics and emphasis of exploration, improve the adaptability of exploration theory and technology, and improve exploration efficiency. Exploration comprehensive analysis would communicate theory study and management, help researchers keep abreast of macro-dynamic conditions, and improve management.

Key words: mature exploration area; oil and gas exploration; comprehensive analysis; technical method; Jiyang Depression

油气勘探是以油气地质理论为指导,利用地球物理、钻井等多种技术手段,在认识油气聚集规律的基础上,用尽可能少的投入发现更多商业储量的过程。由于油气勘探终究是在用少量的资料解读地下复杂情况,分析研究工作就显得异常重要,从认识成藏条件、把握钻探风险、测算预期收益、优化勘探方案,直至决策部署,多学科的集成研究贯穿始终。这其中,成藏地质条件研究是各项研究的基础,也是投入力量最多的环节。由于地质研究更多地是按勘探区块进行分工,出于对更高成功率及更高效益的本质追求,基于基础研究之上的勘探目标的全方位类比、多角度判断、最优化选择以及对勘探工作的系统把握等综合分析就显得越发重要。本文总结在济阳坳陷开展勘探综合分析的主要内

容和做法,以供讨论。

1 勘探部署方案优化

区块研究人员会形成本区块油气成藏地质规律的系统认识,并基于勘探成功经验和储量效益二方面因素提出勘探建议。综合分析人员则是要面对整个探区的多种目标进行类比分析、评价优选,提出最优的建议方案。这需要做好以下7个方面的工作。

1.1 勘探单元细分

勘探单元是指能按照油气地质理论开展研究,形成较完整的勘探思路和方案,具有针对性的勘探技术系列,能够整体部署、分步实施、动态调整的最小地质单元^[1]。济阳坳陷勘探初期多以凹陷为勘

探单元^[2], 上个世纪 80 年代多以二级构造带为勘探单元^[3]。当前, 纵向上主要以砂层组为最小层系单元, 有些领域已逐步进入了小层勘探、砂体勘探阶段; 平面上多是以较独立的最小的构造体系、沉积体系、油气运聚体系, 如断裂带、地层超剥带、砂体发育区等为最小地质单元。综合断裂系统、构造背景、沉积体系、当前勘探目的层、地面条件等因素, 将济阳拗陷平面上划分了 74 个勘探单元(图 1)。勘探单元的不断细化, 是勘探认识程度提高、勘探工作深化的表现, 是动态的, 不是一成不变的。在济阳拗陷就是把细分了的勘探单元作为综合分析的最小单元, 有利于实现各种目标的全方位对比。

1.2 勘探模式构建

济阳拗陷纵向上发育前第三系、古近系、新近系 3 套大的含油层系, 已探明石油地质储量分别占 30.5%, 64.8%, 4.7%。其中, 前第三系发育块断型盆地, 古近系属于典型的陆相断陷盆地, 新近系则发育拗陷型盆地, 平面上以东营、沾化、车镇、惠民 4 大拗陷为主, 其间以多个凸起相分隔。多期构造运动、多次生排烃过程、多套含油层系、多种沉积样式、多种油气藏类型, 共同构成了济阳拗陷复式油气聚集区的复杂特点。因此, 要想深刻而系统地把握济阳拗陷的勘探特点, 必须要在平面上细分地质单元, 同时充分考虑纵向上含油层系的差异, 构建每一个单元的勘探地质模式。主要是按照油气地质学的基本原理, 从生、储、盖、运、圈、保 6 方面, 选择能反映最新认识的平面图、剖面图、单井柱状图

等, 构建勘探地质模型^[4-11]。将地质模型上的每一个关键点都关联到物探、钻井、试油、储量、实验室分析等基础数据, 构建勘探数据模型^[12-13]。同时, 进一步构建地震、钻井、测井、录井、试油等的勘探技术模型。例如, 针对东营拗陷北部陡坡带, 已逐步建立起了陡坡带近岸水下扇沉积储层发育及油气成藏模式、测井约束反演结合属性分析为主的扇体描述技术模型、直井分段压裂多段合采的试油技术模型等, 实现了对这一类型勘探单元关键要素的全面把握。模型的构建是动态的, 每完成一个轮次的勘探, 都要对其进行更新。济阳拗陷勘探工作有一个显著特点, 就是同一个区块同时有地质、物探、生产三方面力量在相对独立地开展研究, 构建勘探模式, 需要充分体现三者的异同点, 尊重各自的独到见解。

1.3 勘探程度对比

济阳拗陷三维地震覆盖程度已超过 90%, 探井控制面积为 4.8 km²/口(换算成探井密度平均为 0.21 口/km²), 石油资源探明率 51.7%, 根据贾文瑞等^[14]的分类方法, 已整体处于高成熟勘探程度(图 2)。仅按探井控制程度计算, 处于成熟以上勘探程度的区域, 即探井控制面积小于 25.0 km²/口(换算成探井密度平均大于 0.04 口/km²)的范围, 占济阳拗陷勘探面积的 53.4%; 处于高成熟勘探程度的区域, 即探井控制面积小于 5.0 km²/口(探井密度平均大于 0.2 口/km²)的范围, 占济阳拗陷的 37.9%。济阳拗陷 74 个勘探单元中, 处于成熟勘

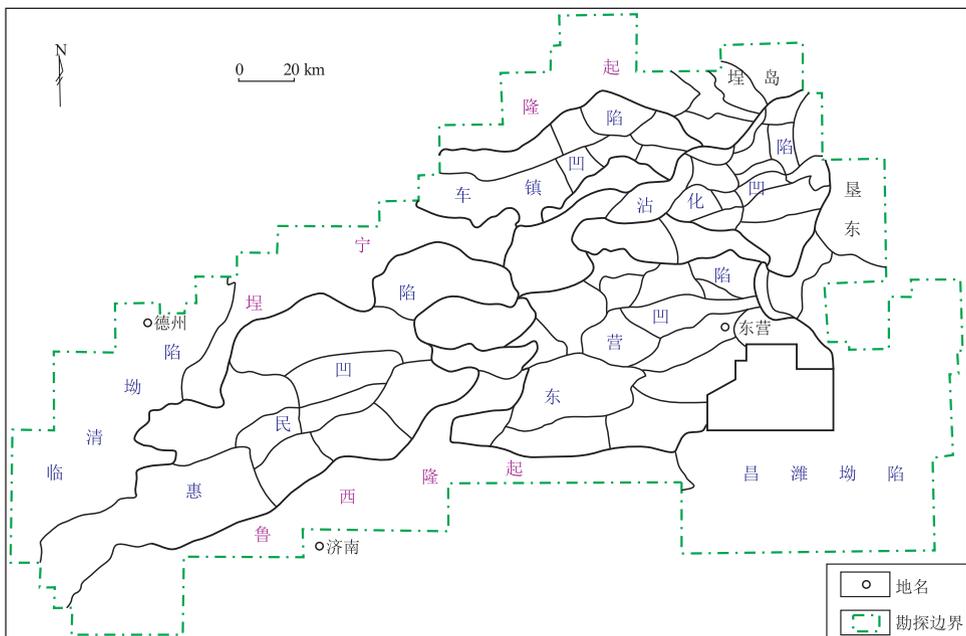


图 1 济阳拗陷勘探单元划分

Fig.1 Exploration units in Jiyang Depression

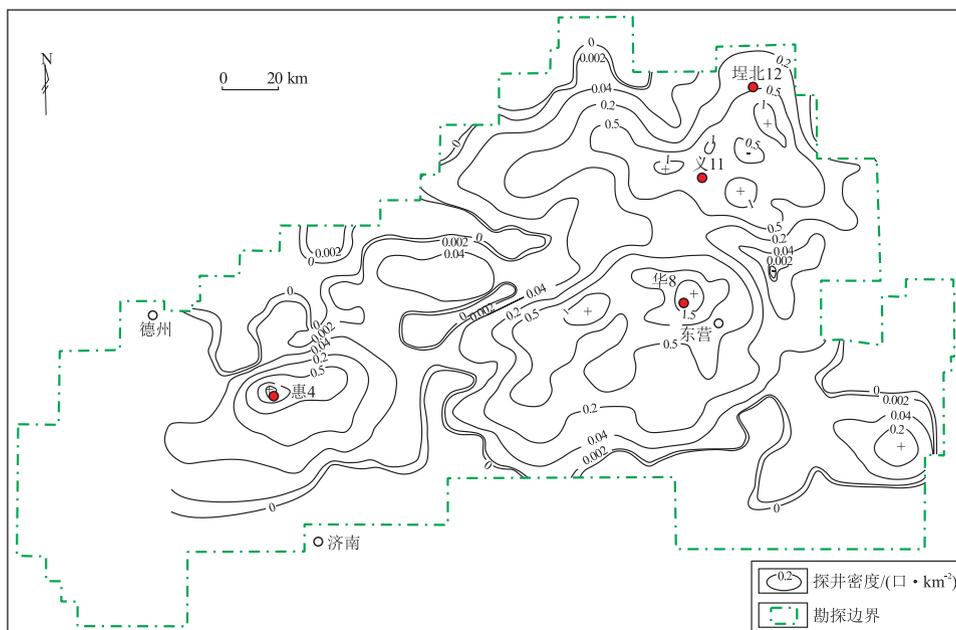


图 2 济阳拗陷探井密度等值线

Fig.2 Density contours of exploration wells in Jiyang Depression

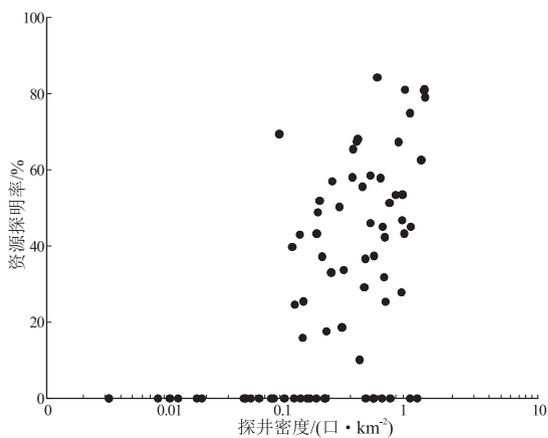


图 3 济阳拗陷勘探单元探井密度与石油资源探明程度

Fig.3 Well density and hydrocarbon proven degree of exploration units in Jiyang Depression

探程度(探井密度平均大于 0.04 口/km²且资源探明率大于 30%)的有 38 个,占 51.4%(图 3);处于高成熟勘探程度(探井密度平均大于 0.2 口/km²且资源探明率大于 50%)的有 20 个,占 27.0%。尽管已实施钻探,但尚未获得探明储量的还有 28 个单元,占 37.8%,差异较大。

勘探程度的高低,与距离生油中心的远近密切相关。距离生油中心越近,探井密度越大,储量发现能力越强,例如,东营凹陷的北部陡坡带、中央背斜带,沾化凹陷的渤南洼陷带,惠民凹陷的中央断裂带等都已经属于高成熟探区。这体现了陆相含油气盆地油气勘探的一般规律。

1.4 勘探历程总结

自 1961 年华 8 井成功以来,济阳拗陷在半个多

世纪的勘探过程中,共经历了 3 大勘探阶段。(1)上世纪 60~70 年代的背斜油气藏勘探阶段,以陆相生油理论为指导,主要借助较为原始的模拟地震技术,近源环注,寻找具有正向背斜构造背景的大中型油气藏,先后发现了胜坨、东辛等油田,快速形成了千万吨级的原油生产基地。(2)上世纪 80~90 年代初期的复式油气藏勘探阶段,主要是通过对济阳拗陷构造控藏地质规律的系统研究和总结,划分出陡坡带、缓坡带、中央背斜带、洼陷带、潜山披覆构造带等二级构造带类型,并总结出不同的油气聚集规律,提出了复式油气聚集区(带)勘探理论,以此为指导,实现了石油储量的高速增长。(3)上世纪 90 年代中期以来的隐蔽油气藏勘探阶段,主要借助层序地层学、含油气系统等理论和方法,对断陷期和拗陷期的沉积演化规律进行了系统研究,总结出冲积扇、扇三角洲、河流三角洲、近岸水下扇、浊积扇、曲流河、辫状河等不同沉积类型储集体的发育机制,总结出岩性、地层等油气藏的控藏机制,提出了隐蔽油气藏勘探理论,以此为指导,实现了济阳拗陷新增储量的持续稳定增长。每一个勘探地质单元均有其特殊的石油地质条件,总结其勘探历程,都会带来新的启发。勘探历程的总结,尤其是要突出每个单元在出现重要转折时的地质认识、指导思想、部署思路、技术方法、部署方案等变化,以及这些变化对其他单元的影响。所说的重要转折,是随着新井的完钻,对地下地质情况的认识出现了新变化,从而促成新一轮的部署钻探或暂停勘探。

1.5 地质风险评价

济阳拗陷具有多区域、多层系、多个成藏系统、多种目标类型,尽管勘探程度较高且分类制定了地质风险赋值标准,但风险概率评价结果与成功率之间的相关性并不太令人满意。客观原因是油气勘探的高风险性,以及济阳拗陷地质条件的复杂性,直接原因是现有的地质研究能力参差不齐。断裂体系、沉积体系研究手段多样,工作方法较成熟,而在勘探领域主要利用地震资料结合少量钻井判断断层封闭性、预测缝洞型储层发育程度、检测各类储集体含油性等方面尚有欠缺。尤为重要的是,目前还不具备油气运移通道及运移能力的半定量一定量研究及工业制图方法,这也是济阳拗陷未来大幅度提升勘探能力的瓶颈问题。当前济阳拗陷开展勘探目标地质风险评价,是在风险概率分析的基础上,根据同一类型目标成藏的共性规律,针对目标的特殊性,多角度综合判断。

1.6 商业价值测算

目前,济阳拗陷的勘探部署、储量升级、储量上报均开展商业价值的测算和评估。勘探目标商业价值的测算,是在地质风险评价的基础上,利用现金流方法,借鉴类似油藏的开发规律^[15],编制开发概念井网,考虑勘探成功井的前期投入以及产能建设投资规模,建立勘探目标的现金流计算过程,按照规定的经济参数,主要计算内部收益率、净现值、盈亏平衡油价、最小规模商业储量等。例如,在探井井位部署过程中,对所有建议的井位目标,都要借鉴邻区参数,计算圈闭的盈亏平衡油价和最小规模商业储量。凡是高于油田分公司平均平衡油价,或者低于最小规模商业储量的井位目标,一律暂不采纳。

1.7 增储能力分析及目标优选

在济阳拗陷勘探过程中,分析储量增长能力,更多地是对低级别储量和圈闭资源量逐块进行升级能力分析,主要依据包括低级别储量或资源量的落实程度、钻井试油等工程技术适应性、地面条件可行性,以及预期经济效益等。对于没有资源升级的区块,则是通过专家论证,给出可能的增储潜力。通过测算,济阳拗陷未来 5 年新增的控制储量中,依靠现有预测储量升级的占 28.6%,钻探证实的含油圈闭资源量升级的占 20%,未经钻探的圈闭资源量升级的占 19.7%,需当期新发现的占 31.7%。

明确了储量的来源构成,就可以分层次对有利的勘探方向和目标进行优选,进而编制勘探方案。对于勘探单元,在有限的投入条件下,当然是选择剩余资源潜力大、地质条件认识较为清楚、工程技术条件相对适用、能够获得规模商业储量、能够连

续投入并能持续获得发现的单元,优先进行部署。对于勘探程度高、地质规律认识清楚、勘探效益难以大幅提升的老油田周边,多是交由滚动勘探进行部署钻探。对于勘探程度较低、地质规律认识不清楚、工程技术尚不适应、短期内难以获得商业发现的单元,则以基础研究为主。当前,济阳拗陷 74 个勘探单元中,通过优选,每年实施钻探的约在 35~40 个。对于井位目标,则是在地质风险评价和商业价值测算的基础上,再考虑对提升勘探关键要素认识的作用,如深化成藏主控因素认识、验证工程技术关键点等,多方面综合考虑是否优先钻探。

2 勘探工作规律分析

勘探工作同时受 2 大规律的指导,一是石油地质规律,二是勘探工作规律^[16-17]。在稳定的政策环境下,勘探工作规律更多地是取决于勘探投入、探区所处的勘探阶段,以及理论技术的创新应用等。

分析勘探运行规律,可以通过总结勘探历程,梳理出影响勘探发展质量的内外部因素,才能准确把握当前的运行特点和工作重点,例如优选出重点的勘探方向、制定出合理的部署方案、拓展出具有接替能力的新领域等。

勘探运行质量,主要包括勘探工程速度、效率和质量、油气发现能力,如工业油流率、油层发现率、低级别油气显示线索^[18]、勘探工程成本控制能力,以及勘探投资效益等。

勘探理论技术适应性分析,是解决勘探瓶颈问题必不可少的环节^[19-20],具体包括:基础工作是否规范全面以及资料应用是否充分完整、造成圈闭不成藏的地质条件、不成藏地质条件认识上的地球物理技术方法、探井有油气发现但没有工业价值时还要分析钻井过程中的油层保护及提高产量的试油技术方法的适应性等。

通过上述综合分析,可根据需要撰写季度、半年、年度勘探形势分析报告,并通过适当形式发布。

3 结论与认识

本文介绍了济阳拗陷开展勘探综合分析的主要内容和做法,其目的是丰富勘探基础研究和部署决策之间的管理性研究工作内容,能够使具体区块的研究人员不断得到探区宏观层面的整体信息,也能使管理人员及时系统地把握基础研究工作上的共性问题,是一项不可或缺的工作。勘探综合分析工作需要管理部门的组织下,全方位、多角度、持续地开展。济阳拗陷作为勘探程度较高的成熟探区,拥有丰富的资料,经历过长时期、不同思路、不同方式的勘探过程,具有开展勘探综合分析

的优势。但这些做法是否适用于其他探区,还有待于进一步探讨。

参考文献:

- [1] 徐向华.成熟探区勘探单元划分及其意义:以东营凹陷为例[J].石油实验地质,2011,33(3):303-306.
Xu Xianghua.Division of exploration units and its significance in mature exploration region: A case study in Dongying Sag[J].Petroleum Geology & Experiment,2011,33(3):303-306.
- [2] 帅德福.济阳拗陷油气勘探[M].北京:石油工业出版社,2004:15-20.
Shuai Defu.Petroleum exploration in Jiyang Depression[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2004:15-20.
- [3] 刘兴材,杨申龢.济阳复式油气区大油田形成条件及分布规律[J].成都理工大学学报,1998,25(2):276-284.
Liu Xingcai,Yang Shenbiao.Formation conditions and distribution pattern of the oil fields in the compound oil gas area,Jiyang[J].Journal of Chengdu University of Technology,1998,25(2):276-284.
- [4] 崔鑫,李江海,姜洪福,等.断陷盆地内构造带对油气聚集的控制作用:以海拉尔盆地霍多莫尔构造带为例[J].石油实验地质,2016,38(1):40-47.
Cui Xin,Li Jianghai,Jiang Hongfu,et al.Hydrocarbon accumulation in rifted basin tectonic units: A case study of Huoduomoer tectonic zone in the Hailaer Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2016,38(1):40-47.
- [5] 陈欢庆,石成方,曹晨.精细油藏描述研究中的几个问题探讨[J].石油实验地质,2016,38(5):569-576.
Chen Huanqing,Shi Chengfang,Cao Chen.Problems with the fine description of reservoirs [J].Petroleum Geology & Experiment,2016,38(5):569-576.
- [6] 刘延莉,徐向华.墨西哥湾盆地油气分布规律及成藏主控因素分析[J].石油实验地质,2014,36(2):200-205.
Liu Yanli,Xu Xianghua.Petroleum distribution rules and controlling factor analysis of Gulf of Mexico Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(2):200-205.
- [7] 牛子铨,柳广弟,曹喆,等.银额盆地查干凹陷油藏特征及油气成藏过程[J].石油实验地质,2016,38(1):32-39.
Niu Zicheng,Liu Guangdi,Cao Zhe,et al.Reservoir characteristics and hydrocarbon accumulation in Chagan Sag,Yingne-Ejinaqi Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2016,38(1):32-39.
- [8] 林玉祥,孙宁富,郭凤霞,等.油气输导机制及输导体定量评价研究[J].石油实验地质,2015,37(2):237-245.
Lin Yuxiang,Sun Ningfu,Guo Fengxia,et al.Mechanism and quantitative evaluation method of the petroleum migration system [J]. Petroleum Geology & Experiment,2015,37(2):237-245.
- [9] 李宝庆.现行层序模型及其标准化[J].石油实验地质,2015,37(2):134-140.
Li Baoqing.Current models and standardization of sequence stratigraphy [J]. Petroleum Geology & Experiment,2015,37(2):134-140.
- [10] 徐政语,俞广,吴炜强,等.北部湾盆地东南部构造特征及控油作用分析[J].石油实验地质,2014,36(2):144-152.
Xu Zhengyu,Yu Guang,Wu Weiqiang,et al.Structural features and controlling on oils in southeastern Beibu Gulf Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2014,36(2):144-152.
- [11] 田立新,吴国强,张金辉.渤海东部庙西地区隆凹结构的形成及与油气聚集的关系[J].石油实验地质,2014,36(1):56-63.
Tian Lixin,Wu Guoqiang,Zhang Jinhui.Formation of uplifts and sags in Miaoxi area of eastern Bohai Sea and their relationship with hydrocarbon accumulation[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(1):56-63.
- [12] 刘春梅,谭青.模糊综合评判在油气勘探多学科指标评价预测中的应用:以新疆柴窝堡凹陷为例[J].石油实验地质,2014,36(1):106-109.
Liu Chunmei,Tan Qing.Application of fuzzy comprehensive evaluation in oil & gas exploration with multidisciplinary assessment & forecasting:A case study on Chaiwopu Sag in Xinjiang[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(1):106-109.
- [13] 杨双,闫相宾,蔡利学,等.圈闭资源量计算参数确定方法:以断块型圈闭为例[J].石油实验地质,2015,37(4):530-534.
Yang Shuang,Yan Xiangbin,Cai Lixue,et al.Parameter definition in resource calculation of a trap: A fault block example [J]. Petroleum Geology & Experiment,2015,37(4):530-534.
- [14] 贾文瑞,徐青,王燕灵,等.1996—2010年中国石油工业发展战略[M].北京:石油工业出版社,1999:219-225.
Jia Wenrui,Xu Qing,Wang Yanling,et al.Development strategy of China's petroleum industry,1996-2010[M].Beijing:Petroleum Industry Press,1999:219-225.
- [15] 荆克尧,熊国明,刘会友,等.胜利油区采油速度现状与对策研究[J].油气地质与采收率,2001,8(6):75-77.
Jing Keyao,Xiong Guoming,Liu Huiyou,et al.Present situation and countermeasure research on production rate in Shengli petroliferous area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2001,8(6):75-77.
- [16] 郭元岭.油气勘探发展基本规律[J].石油实验地质,2013,35(1):72-75.
Guo Yuanling.Basic regularity of petroleum exploration development [J]. Petroleum Geology & Experiment,2013,35(1):72-75.
- [17] 郭元岭,张林晔,蒋有录,等.济阳拗陷地层油藏勘探实践分析[J].石油勘探与开发,2006,33(4):432-436.
Guo Yuanling,Zhang Linye,Jiang Youlu,et al.Exploration of stratigraphic reservoirs in Jiyang Depression [J]. Petroleum Exploration and Development,2006,33(4):432-436.
- [18] 徐桂华.济阳拗陷探井“出油点”升级评价方法研究[J].特种油气藏,2014,21(4):13-16.
Xu Guihua.Research on upgrading evaluation of oil entries in exploration wells of Jiyang Sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs,2014,21(4):13-16.
- [19] 贾承造,赵文智,邹才能,等.岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术[J].石油勘探与开发,2004,31(3):3-9.
Jia Chengzao,Zhao Wenzhi,Zou Caineng,et al.Two key technologies about exploration of stratigraphic/lithological reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development,2004,31(3):3-9.
- [20] 郭元岭,蒋有录,赵乐强,等.济阳拗陷预探井失利地质原因分析[J].石油学报,2005,26(6):52-56.
Guo Yuanling,Jiang Youlu,Zhao Leqiang,et al.Geologic reasons for unsuccessful preliminary prospected wells in Jiyang Depression [J]. Acta Petrolei Sinica,2005,26(6):52-56.