

文章编号: 0253-9985(2009)04-0398-07

渤海海域渤中凹陷源控油气作用 及有利勘探区域预测

夏庆龙¹, 庞雄奇^{2,3}, 姜福杰^{2,3,4}, 马行陟^{2,3}

[1 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452; 2 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
4 新疆大学 地质与勘查工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046]

摘要: 根据“源控论”的地质思想, 通过对中国东部盆地烃源岩与油气藏分布特征的地质统计, 提出了油气分布门限的概念, 并在此基础上提出了油气成藏概率、储量分布概率和最大油藏规模的相关概念, 采用地质统计、回归判别的方法, 建立了多元非线性数学模型。结合排烃门限、成藏门限和分布门限对渤海海域渤中凹陷的油气分布进行了综合预测, 结果表明, 石臼坨成藏体系和渤东成藏体系是最有利的勘探区带, 在排烃边界范围附近, 成藏概率大于 80% 的圈闭将是最有利的勘探目标。

关键词: 排烃门限; 成藏门限; 分布门限; 源控论; 烃源岩; 渤中凹陷; 渤海海域

中图分类号: TE132.1 **文献标识码:** A

Control of source rock on hydrocarbon accumulation and prediction of favorable plays in the Bozhong Depression of the Bohai Sea waters

Xia Qinglong¹, Pang Xiongqi^{2,3}, Jiang Fuyue^{2,3,4}, Ma Xingzhi^{2,3}

(1 CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452 China; 2 Research Center for Basin and Reservoir, China University of Petroleum, Beijing 102249 China; 3 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, Beijing 102249 China; 4 School of Geology Exploration and Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830046 China)

Abstract According to the geological theory of “source-control” (i.e., hydrocarbon accumulations are under the control of source rocks), we made geostatistics on distributions of source rocks and reservoirs in China’s eastern basins. Based on these statistical data we brought forward a concept of “hydrocarbon distribution threshold”, which lays the foundation for concepts such as “probability of hydrocarbon pooling”, “probability of reserve distribution” and “maximum size of reservoir”. A multivariate nonlinear mathematical model was established by using the geostatistics and regression discrimination approaches. We made a comprehensive prediction on the hydrocarbon distribution in the Bozhong depression of the Bohai Sea waters according to the hydrocarbon expulsion threshold, hydrocarbon pooling threshold and hydrocarbon distribution threshold. The results show that the favorable plays are the Shijiutuo pooling system and the Bodong pooling system. Favorable exploration targets will be traps which are adjacent to the boundary of hydrocarbon expulsion and have an over 80% probability of hydrocarbon pooling.

Key words hydrocarbon expulsion threshold; hydrocarbon pooling threshold; distribution threshold; source-control theory; source rock; Bozhong Depression; Bohai Sea waters

收稿日期: 2009-06-03。

第一作者简介: 夏庆龙(1964—), 男, 教授级高工, 石油地质。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004)。

“源控论”的地质思想于 1963 年提出^[1~3], 在渤海湾盆地油气勘探过程中得到进一步深化^[4]。“源控论”强调“油气田环绕生油中心分布, 并受生油区的严格控制, 油气藏分布围绕生油中心呈环带状分布”^[1~5]。国内外学者也通过大量的统计得出认识, 即形成大油气田的源岩生烃强度具有下限值^[6~9], 另外, 油气分布距离源岩中心的距离存在极限值, 一般不会超过 100 km^[10~13]。若能建立源控油气作用的定量模式, 将对油气藏的形成与分布规律的研究提供可靠的理论依据和研究手段, 对于油气勘探实践而言, 具有十分重要的理论意义和实际意义。

1 有效源岩及其定量评价标准

所谓有效烃源岩, 是指既有油气生成又有油气排出的岩石^[14]。一般认为有机碳含量大于 0.5% 的暗色泥岩或油页岩即为烃源岩, 氯仿沥青“A”指标的标准是 0.5%。并以此作为界定有效烃源岩的下限标准^[15~17]。也有以门限控烃的思

想对有效烃源岩进行判别^[18]。此外, 也有学者利用模拟实验方法^[19~23]和密集取样观测岩心烃类含量等地球化学参数的方法研究烃源岩的有效性^[24~25]。总之, 大多数学者定义优质烃源岩为有机质丰度高、类型好、对油气成藏有较大贡献的烃源岩^[26], 目前国内外尚无统一的判别标准^[27]。

2 源控油气作用及其定量表征

源控油气作用自提出以来, 得到了学者们的广泛认同, 基于“源控论”思想的指导, 以物质平衡原理为基础的门限控烃理论^[28~29]很好的发展了源控油气作用的思想, 并从综合分析油气运聚过程中的各种地质因素和地质作用出发, 达到定量预测油气资源和分布规律的目的。

笔者提出了油气分布门限的概念, 是指含油气盆地内受烃源岩条件的控制, 油气能够运移的最大范围^[30]。并将这一概念继续延伸, 建立了油气成藏概率、储量分布概率和最大油藏规模 3 个相关概念及数学模型 (图 1)。并收集了中国东部

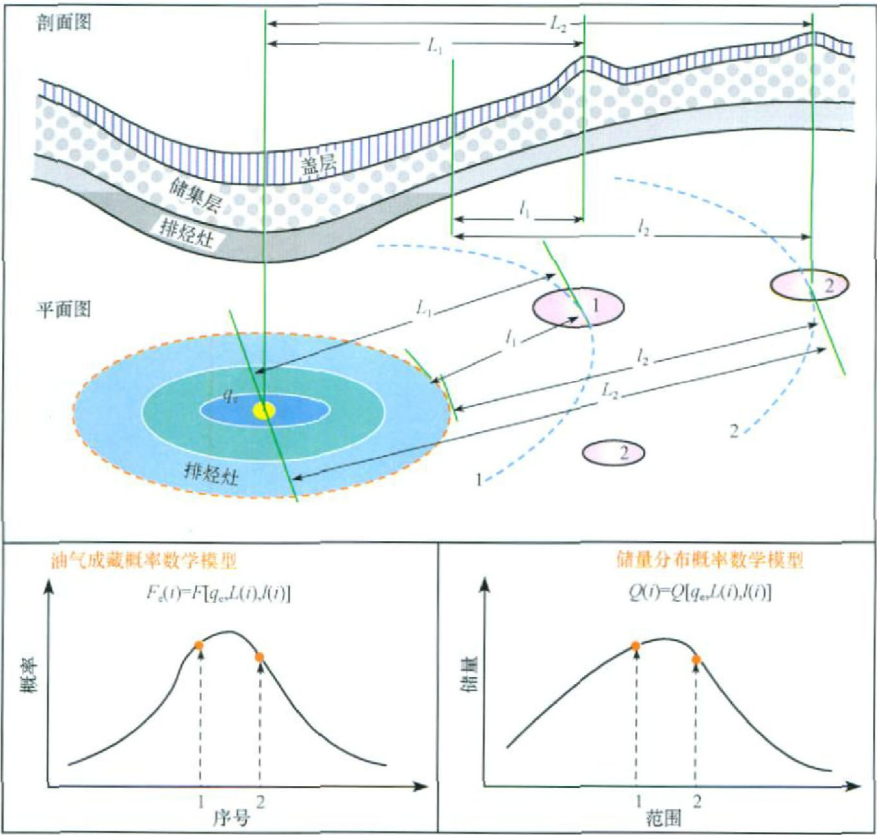


图 1 油气分布概率及储量分布丰度地质概念及数学模型

Fig. 1 Geological concepts and mathematical models of hydrocarbon distribution probability and reserves abundance

$L(i)$: 第 i 个圈闭到排烃中心的距离, km; $l(i)$: 第 i 个圈闭到排烃灶边界的距离, km; q_e : 烃源灶排烃强度, 10^4 t/km²

含油气盆地的油气藏分布与烃源岩条件的相关数据。

1) 烃源岩排烃强度 (q_e)

该参数反映了烃源岩排烃能力与油气分布的关系,即烃源岩排烃强度能够辐射的范围。

2) 油气藏到排烃中心的距离 (L)

该参数表明了油气藏距离排烃中心的远近,此值以排烃中心为原点,越大表明油气运移的距离越大。

3) 油气藏到排烃边界的距离 (l)

该参数的取值以排烃边界为原点,在排烃范围以内取负值,在排烃范围以外取正值,反映了烃源灶内外油气分布的特征。

以上述 3 个参数为统计目标,统计了中国东部 7 个含油气盆地和凹陷的 539 个油(气)藏的资料[最大距离 (L)、最小距离 (l) 以及排烃强度 (q_e)],建立了样本空间(表 1)。

另外,为了消除盆地地质条件差别的影响,在分析以前,对不同盆地或凹陷的原始数据进行了标准化处理,然后再合并到一起,建立具有普遍意义的样本空间。处理方法如下:

$$L_{\text{标准化}} = L/L_0 \quad (1)$$

$$l_{\text{标准化}} = l/L_0 \quad (2)$$

式中: $L_{\text{标准化}}$ 为标准化后 L 值,无量纲; $l_{\text{标准化}}$ 为标准化后 l 值,无量纲; L 为油气藏到排烃中心的实际距离, km; l 为油气藏到排烃边界的实际距离, km; L_0 为沿着 L 方向,排烃中心到排烃边界的距离, km。

2.1 源控作用下的油气成藏概率与定量表征

2.1.1 油气成藏概率的定义

在应用中发现,通过油气分布门限的研究尽管可以获得某一研究区的有效勘探范围,但在这一范围之内究竟什么样的区带油气成藏的概率最大,也是具有现实意义的问题。由此形成了油气成藏概率这一概念,是指含油气盆地中,在油气分布门限

以内的某一位置处形成油气藏的概率值^[30]。

2.1.2 油气成藏概率的定量模式

采用单因素相关分析发现,油气藏出现的概率与排烃中心距离 (L) 呈对数减小的趋势,与排烃边界距离 (l) 则呈现了高斯正态分布特征,与排烃强度 (q_e) 的正相关性非常明显。根据单因素回归的初步分析结果,采用多元非线性的回归,建立了油气藏成藏概率定量模型:

$$F_e = 0.046e^{0.12q_e} - 0.16\ln L + 0.65e^{-8.2357(l+0.1)^2} + 0.1345 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.8825$$

式中: F_e 为油气成藏概率; q_e 为最大排烃强度, 10^6 t/km^2 。

2.2 源控油气藏的储量分布概率与定量表征

2.2.1 储量分布概率的提出

储量分布概率是指含油气盆地内,距离排烃中心的一定范围内,油气储量占总储量的比例^[32]。

2.2.2 储量分布概率的定量模式

单因素分析结果表明,油气储量与排烃中心距离 (L) 呈近线性的相关特征;与排烃边界距离 (l) 则呈现了抛物线的特征,即在排烃边界处油气的地质储量达到最大值,并且这一带状相对较宽;油气地质储量与排烃强度 (q_e) 的正相关性非常明显,随着排烃强度的增加油气地质储量呈增加趋势,一般地,在小于 $10 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 的范围内增加不太明显,而超过 $10 \times 10^6 \text{ t/km}^2$ 之后,储量迅速增加。

根据单因素回归的分析结果,同样采用多元非线性回归,建立了油气藏分布概率定量模型:

$$Q_f = 0.051e^{0.012q_e} - 0.08\ln L + 0.71e^{-5.20(l+0.2)^2} + 0.09 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.816$$

式中: Q_f 为某一范围内一定规模的油藏。

表 1 油气分布定量模式统计资料来源

Table 1 Sources of statistical data for quantitative model of hydrocarbon distribution

凹陷或区带	松辽盆地北部	乌尔逊凹陷	东营凹陷	车镇凹陷	沾化凹陷	辽河西部凹陷	渤中凹陷	总计
油藏 / 个	38	8	142	25	56	241	29	539
数据 / 个	114	24	426	75	168	723	87	1 617

在概率曲线上任意区间所形成的面积为这一区间的储量总数, 由此可以将油气储量分布概率曲线转化为某一区带范围油气储量所占百分比的计算公式, 也即计算任意区间的概率密度 $F(Q_i)$, 可以采用积分计算的方法, 公式如下:

$$F(Q_i) = \frac{\int_{L_{\max}}^{L_i} Q_f(L, l, q_e) dL}{\int_{L_{\max}}^{L_i} Q_f(L, l, q_e) dL} \quad (5)$$

式中: $L_{\max}$ 为标准化的排烃中心至油分布门限边界的距离, km。

该式中分子为某一区间范围内的概率曲线所构成的面积, 分母为概率曲线所构成的总面积, 二者之比正好反映了某一区间范围所占的比例, 即某一区带的概率密度 $[F(Q_i)]$, 从而获得了储量的百分比。

2.3 源控油气藏的规模与定量表征

2.3.1 油气分布规模门限的提出

油藏规模门限是指含油气盆地内, 距离排烃中心的一定范围内, 能够形成的最大油气藏规模^[32]。

2.3.2 油气分布规模门限的定量模式

与建立成藏概率定量模式的思路一样, 根据单因素回归的初步分析, 获得油气藏规模门限与 3 个因素呈不同的相关关系。利用 SPSS 专业统计软件获得了油气藏规模门限定量模型:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= 3.46e^{0.12q_e} - 1\,916 \ln L \\ &+ 10\,078e^{-4.2357(l+0.2)^2} + 1\,097.3 \\ R^2 &= 0.801\,2 \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $Q_{\max}$ 为某一范围内最大规模的油藏。

2.4 源控油气藏的资源量与定量表征

油气自烃源岩生成后到开始聚集成藏的过程中, 要发生大量的损耗。成藏门限是指油气成藏体系内形成具有工业价值油气藏的过程中所必须耗散的最小烃量^[8]。油气的损耗依先后可分为烃源岩残留、储层滞留、盖前排失、围岩吸附、水溶流失和扩散损失, 各种损耗烃量的计算模型前人已有专门的文献讨论^[28~32]。

3 源控作用下渤中凹陷有利勘探区域预测

3.1 区域地质概况

截至目前, 渤海海域共发现油气田 53 个, 含油气构造 103 个, 发现各类地质储量的石油约 $38 \times 10^8 \text{ m}^3$, 天然气约 $2\,500 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 展现了良好的资源前景^[33, 34]。所发现的大部分油气田围绕渤中凹陷呈环带状分布^[35~37]。渤中凹陷是渤海海域内最大的富生烃凹陷^[38, 39], 它位于渤中坳陷的主体深凹部位, 平面上呈近 NE 向展布, 面积约 $8\,660 \text{ km}^2$, 现今时期凹陷基底最大埋深超过 $12\,000 \text{ m}$ 。

3.2 渤中凹陷油气成藏组合及油气成藏体系

在前人研究的基础上, 利用区域盖层发育地质特征, 将渤中凹陷及周缘凸起划分出两套油气成藏组合。分别为沙河街组油气成藏组合, 东营组—馆陶组—明化镇组油气成藏组合。上部成藏组合高势区集中在渤中凹陷中部, 油气呈发散状向四周运移, 从目前勘探现状来看, 以石白坨油气成藏体系和渤南油气成藏体系油气聚集条件最好, 并有较多的含油气构造(图 2)。下部成藏组合的高势区在渤中和渤南都存在, 并且在渤中出现了两个高势中心, 以这两个中心出现了非常明显的势能减小缓慢带, 亦即油气运移的“分隔槽”, 以此可以很好的划分油气成藏体系, 渤东凹陷的高势中心将自身一分为二, 成藏体系分界线明显(图 3)。

3.3 源控作用下有利勘探区带的综合预测

根据油气分布门限及相关概念的定量模式, 结合油气排烃门限、成藏门限的研究方法, 对渤中凹陷上、下两套油气成藏组合进行了综合预测。

上部油气成藏组合的 6 个油气成藏体系, 依据烃源岩排烃范围和各成藏体系排油气量预测结果(图 4), 以石白坨油气成藏体系(I)和渤东油气成藏体系(II)排油气量最大, 可供聚集油气量也在成藏体系内最大。由油气成藏概率定量模式

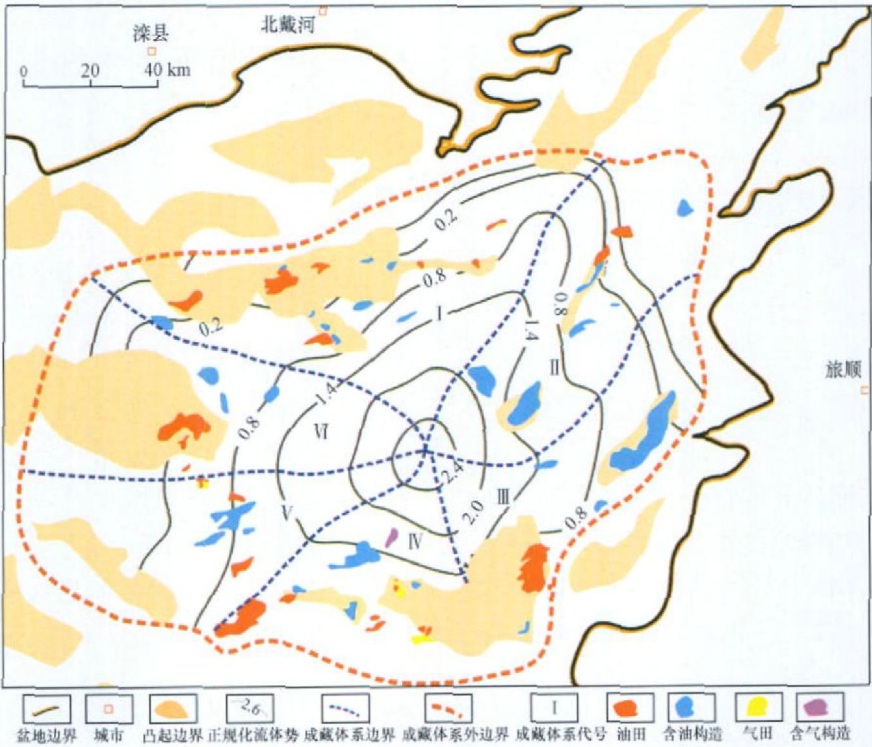


图 2 渤中凹陷上部油气成藏组合油气成藏体系划分平面图

Fig. 2 Division of hydrocarbon pooling system of the upper play in the Bozhong Depression

I. 石臼坨油气成藏体系; II. 渤东油气成藏体系; III. 庙西油气成藏体系; IV. 渤南油气成藏体系;
V. 埕北油气成藏体系; VI. 沙垒田油气成藏体系

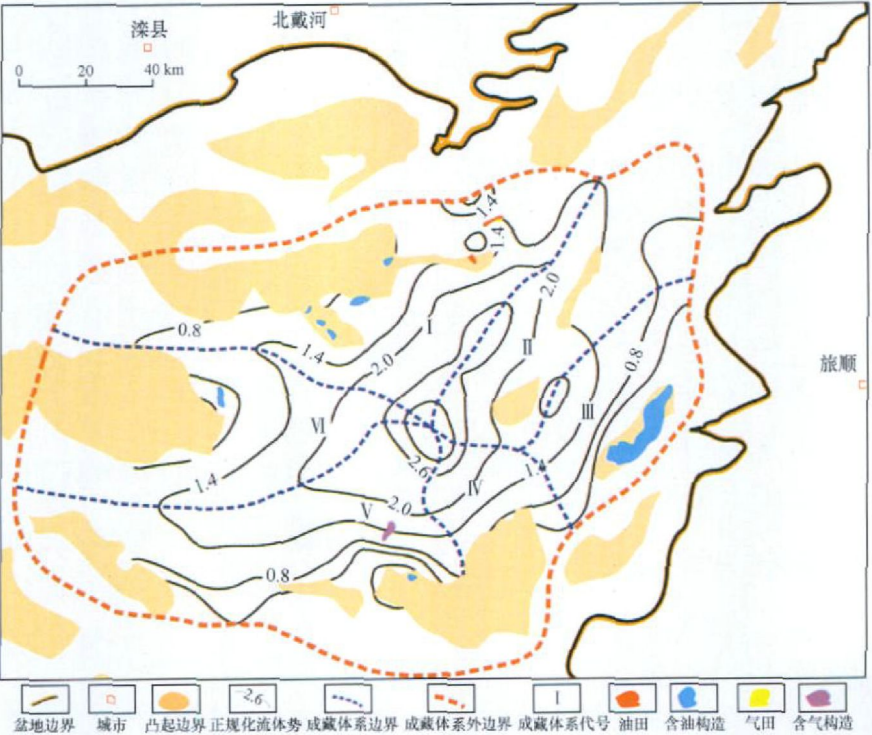


图 3 渤中凹陷下部油气成藏组合油气成藏体系划分平面图

Fig. 3 Division of hydrocarbon pooling system of the lower play in the Bozhong Depression

I. 石臼坨油气成藏体系; II. 渤东油气成藏体系; III. 庙西油气成藏体系;
IV. 渤南东油气成藏体系; V. 渤南-埕北油气成藏体系; VI. 沙垒田油气成藏体系

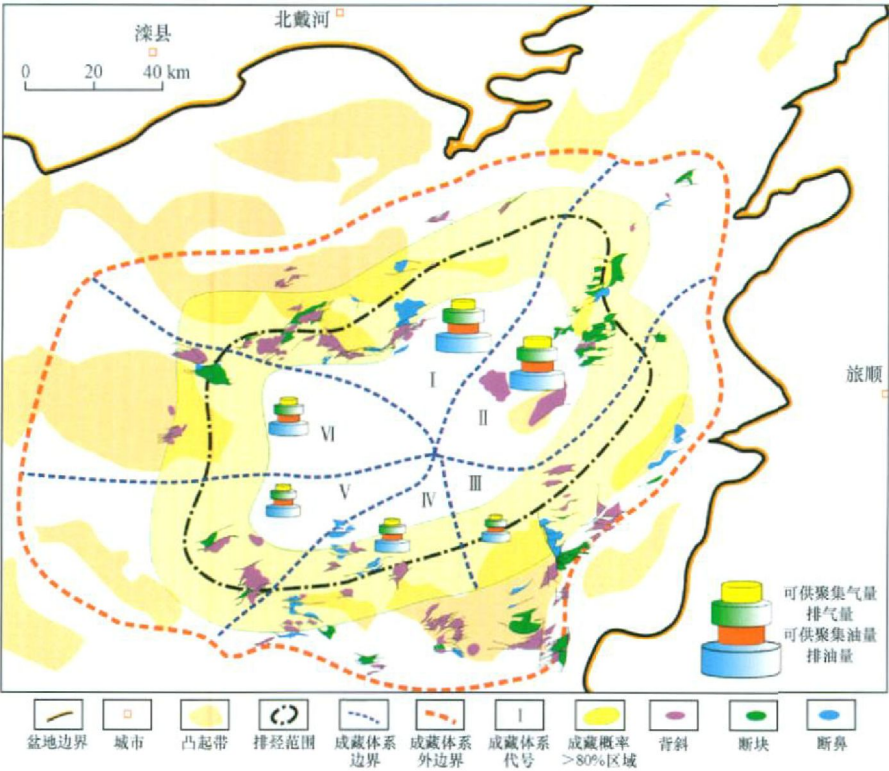


图 4 渤中凹陷上部油气成藏组合油气资源分布特征综合预测

Fig. 4 Prediction of hydrocarbon resources distribution of the upper play in the Bozhong Depression

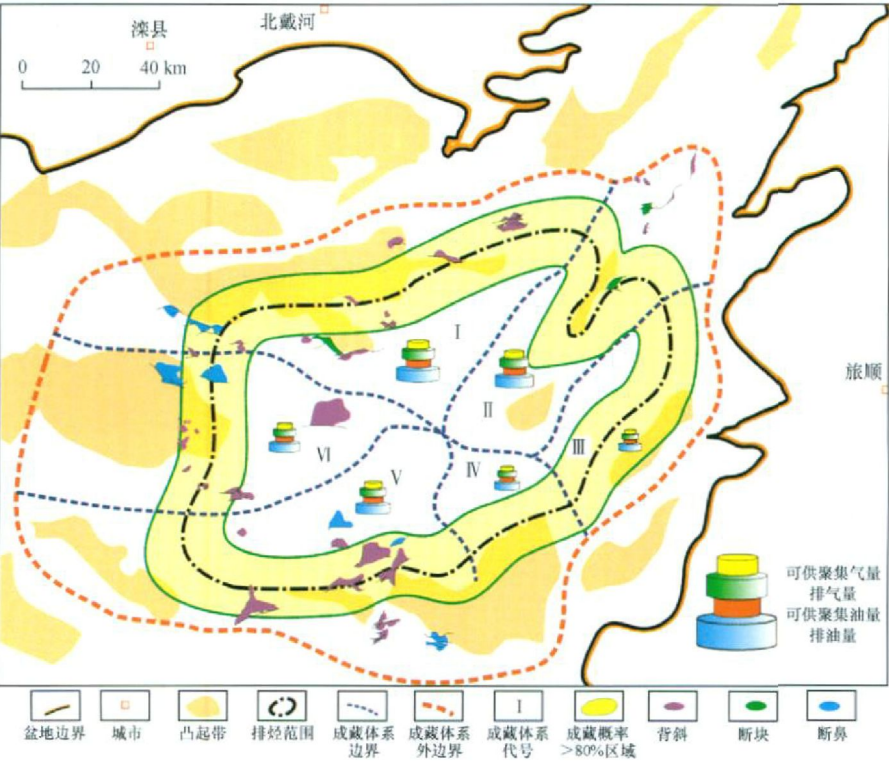


图 5 渤中凹陷上部油气成藏组合有利勘探方向、区带及目标综合预测

Fig. 5 Prediction of favorable exploration areas and targets of the upper play in the Bozhong Depression

判别结果可知,在排烃边界的 ± 15 km 范围内,油气藏的成藏概率达到了 80% 以上,因此这一范围内将是油气成藏的最有利区带范围,将上部成藏组合目前已发现的圈闭与这一范围进行平面叠合,可发现大部分圈闭落在这一区带范围以内,而这些圈闭也将是进行油气勘探的最有利目标。其余圈闭的可靠性,需要结合临近凹陷烃源岩评价结果做进一步的系统分析和验证。下部油气成藏组合的 6 个油气成藏体系(图 5)的总排烃量和总可供聚集烃量要比上部油气成藏组合小得多。石臼坨油气成藏体系(I)和渤东油气成藏体系(II)排油气量最大,可供聚集油气量也最大。由油气成藏概率定量模式判别结果可知,在排烃边界的 $-20 \sim 5$ km 的范围内,油气成藏概率达到了 80% 以上,因此这一范围内将是油气成藏的最有利区带。采用叠合的方法,可知深部成藏组合的大部分圈闭落在这一区带范围以内,而这些圈闭也将是进行油气勘探的最有利目标。

4 结语

1) 针对门限控烃理论存在的不足,对其进行了相应的完善,并提出了油气分布门限的概念。仍然存在一些不足。首先排烃门限的统计资料来源于中国现有的开展了相应排烃门限研究的沉积盆地的 28 套烃源岩的数据;其次,成藏门限的影响因素较多,尽管本次分析了 30 种因素对单位成藏门限的影响,但是由于样本主要是依据渤海湾盆地的资料;利用中国东部陆相断陷盆地的 539 个油藏进行了系统分析,获得了油气成藏概率、最大油藏规模和储量分布概率的定量模式,但缺少西部叠合盆地的资料。

2) 油气分布门限的定量模式研究表明,渤中凹陷上部成藏组合成藏概率在距排烃中心 40~65 km 的范围,概率值在 80% 以上;下部成藏组合在距排烃中心 35~60 km 的范围,概率在 80% 以上;储量分布预测结果表明,上部成藏组合在距离排烃中心 35~70 km 的环带区间内储量百分比超过 50%;下部成藏组合在距离排烃中心 35~65 km 的环带区间内储量百分比超过了 50%;渤中凹陷的最大单一油藏规模在 1.1×10^8 t 以上。综合排烃门限、成藏门限和油气分布门限的定量研究结果,渤中凹陷上、下成藏组合的石臼坨油气成藏体

系(I)和渤东油气成藏体系(II)是最有利的勘探区带,这一区带内,处于成藏概率大于 80% 以上的环带范围内的圈闭将是有利的勘探目标。

参 考 文 献

- 胡朝元. 生油区控制油气田分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报, 1982, 2(2): 9~13
- 胡朝元. 关于成油系统划分原则与方法的若干意见[A]. 见: 中国石油学会石油地质专业委员会, 编. 中国含油气系统的应用与进展[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 胡朝元. “源控论”适用范围量化分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(10): 1~3
- 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质和构造特征[J]. 石油学报, 1980, 1: 6~20
- 胡见义. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992
- 戴金星. 中国大中型气田有利勘探区带[J]. 勘探家, 1996, 1(1): 6~9
- 维索斯基 N B. 天然气地质学[M]. 戴金星, 译. 北京: 石油工业出版社, 1986, 18~24
- 庞雄奇, 罗晓容, 姜振学, 等. 中国典型叠合盆地油气聚散机理与定量模拟[A]. 见: 金之钧, 王清臣, 编. 中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测丛书[C]. 北京: 科学出版社, 2007
- 庞雄奇, 陈冬霞, 姜振学, 等. 隐伏砂岩透镜体成藏动力学机制与基本模式[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 217~219
- 庞雄奇, 金之钧, 姜振学, 等. 油气成藏定量模式[A]. 见: 油气成藏机理研究系列丛书(卷八)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 刘兴材, 钱凯, 吴世祥. 东营凹陷油气场环对应分布论[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 185~190
- 庞雄奇, 张树林, 吴欣松, 等. 油气田勘探[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- 陈荷立. 油气运移研究的有效途径[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 126~130
- 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1~4
- 陈安定. 海相“有效烃源岩”定义及丰度下限问题讨论[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 23~25
- 夏新宇, 戴金星. 碳酸盐岩生烃指标及生烃量评价的新认识[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 36~41
- Baker C. Pyrolysis techniques for source rock evaluation[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(2): 267~294
- 姜振学, 庞雄奇, 金之钧, 等. 门限控烃作用及其在有效烃源岩判别研究中的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 689~695
- 金强, 查明, 赵雷. 柴达木盆地西部第三系盐湖相有效生油岩的识别[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 125~129
- 王新洲, 王学军. 烃源岩排烃机理研究[A]. 见: 王捷, 关德范, 编. 油气生成运移聚集模型研究[C]. 北京: 石油工业出版社, 1999, 51~93

(下转第 411 页)

- 验地质, 1999, 21(1): 71~75
- 13 陈荷立. 油气运移研究的有效途径 [J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 126~130
 - 14 姜振学, 庞雄奇, 曾贇辉, 等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究 [J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 507~516
 - 15 Schowalter T T. Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(2): 723~760
 - 16 England W A. The movement and entrapment of petroleum fluids in the surface [J]. Journal of Geological Society London, 1987, 144: 327~347
 - 17 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a 3-D model [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1451~1481
 - 18 李明诚. 石油与天然气运移 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 27~28
 - 19 Thomas M M, Clouse J A. Scaled physical model of oil migration [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(1): 19~29
 - 20 郭秋麟, 米石云, 石广仁, 等. 盆地模拟原理方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 93~174
 - 21 Berg R R. Capillary pressures in stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(5): 939~956
 - 22 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(2): 96~97
 - 23 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201~206
 - 24 朱筱敏, 董艳蕾, 杨俊生, 等. 辽东湾地区古近系层序地层格架与沉积体系分布 [J]. 中国科学 (D 辑), 2008, 38(增刊 I): 1~10
 - 25 张枝焕, 王铁冠. 不同含油级别储集层的地球化学特征 [J]. 地质科技情报, 2002, 21(3): 48~54
 - 26 庞雄奇, 陈冬霞, 姜振学, 等. 隐伏砂岩透镜体成藏动力学机制与基本模式 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 217~219
 - 27 洪世铎. 油藏岩石的润湿性毛管力和相对渗透率驱替-吸吮循环分析 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1990, 14(6): 107~114
 - 28 王永诗. 油气成藏“相-势”耦合作用探讨——以渤海湾盆地济阳拗陷为例 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 472~477
 - 29 彭文绪, 周心怀, 彭刚, 等. 渤海海域油气藏特征统计分析 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(1): 19~20
 - 30 李潍莲, 代春萌, 于水. 辽东湾断陷与下辽河拗陷油气成藏条件及油气分布特征的差异性分析 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2006, 21(4): 15~19
 - 31 姜福杰, 庞雄奇, 姜振学, 等. 东营凹陷沙三段源岩排烃特征及潜力评价 [J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(4): 7~11
 - 32 李德江, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 辽东湾拗陷古近系沙河街组层序地层分析 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 669~676
 - 33 蒋恕, 蔡东升, 朱筱敏, 等. 辽东湾地区孔隙演化的机理 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(3): 366~372

(编辑 李 军)

(上接第 404 页)

- 21 Lewan M D, Williams J A. Evaluation of petroleum generation from resinite by hydrous pyrolysis [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(2): 207~214
- 22 England W A. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. Journal of the Geological Society London, 1987, 144(2): 327~347
- 23 熊永强. 热模拟实验结合 GC-IRMS 在有效烃源岩研究中的应用 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所
- 24 Leythaeuser D. Geochemical effects of primary migration of petroleum in Kimmeridge source rocks from Brae Field Area North Sea: I gross composition of C_{15}^{+} -saturated hydrocarbons [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1988, 52(6): 701~713
- 25 周光甲, 张方吼. 有机质成烃演化的定量模型研究——东营凹陷南斜坡沙四上亚段低熟烃源岩体描述 [A]. 见: 王捷, 关德范, 编. 油气生成运移聚集模型研究 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 10~50
- 26 郑红菊, 董月霞, 朱光有, 等. 南堡凹陷优质烃源岩的发现 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 385~391
- 27 侯读杰, 张善文, 肖建新, 等. 济阳拗陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析 [J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 137~146
- 28 庞雄奇, 姜振学, 李建青, 等. 油气成藏过程中的地质门限及其控制油气作用 [J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 53~57
- 29 庞雄奇, 李丕龙, 金之钧, 等. 油气成藏门限研究及其在济阳拗陷中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 204~209
- 30 姜福杰. 源控油气作用机制及其定量模式 [D]. 北京: 中国石油大学, 2008
- 31 周海燕, 庞雄奇, 姜振学. 油气成藏门限及其研究方法 [J]. 石油学报, 2003, 24(6): 40~44
- 32 姜福杰, 姜振学, 庞雄奇, 等. 东营凹陷油气成藏体系的划分与定量评价 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(5): 651~660
- 33 朱伟林, 葛建党. 渤海海域天然气勘探前景分析 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 8~13
- 34 朱伟林, 王国纯, 周毅. 渤海油气资源浅析 [J]. 石油学报, 2000, 21(3): 1~7
- 35 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中拗陷及周围油气勘探的主要领域 [J]. 中国海上油气, 2006, 14(3): 145~156
- 36 龚再升. 渤海海域将成为我国东部石油稳产的重要基地 [J]. 石油科技论坛, 2000, 4: 17~25
- 37 王国纯, 张厚和. 渤海及周缘天然气资源分析 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 439~444
- 38 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(2): 93~99
- 39 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201~206

(编辑 高 岩)