

应用“聚油单元”研究 济阳坳陷的石油资源潜力

隋风贵^{1,2}, 罗佳强^{2,3}

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学系, 北京 100083; 2. 中国石化 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257001; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 在济阳坳陷下第三系石油资源评价中, 根据“含油气系统——从烃源岩到圈闭”的基本研究思路, 加强主运移通道控烃的研究, 提出了“聚油单元”的概念, 强调“聚油单元”是盆地数值模拟和资源潜力分析的基本单元。根据研究, 将济阳坳陷划分为 28 个聚油单元, 并在盆地数值模拟和排、聚系数研究的基础上, 计算了各聚油单元的资源量。从石油资源量、远景石油资源量和远景石油资源丰度等方面分析了各聚油单元的资源潜力后认为, 济阳坳陷在新领域、新层系和新类型的石油勘探潜力仍然很大。

关键词: 主运移通道; 聚油单元; 资源潜力; 含油气系统; 济阳坳陷;

中图分类号: TE132. 1

文献标识码: A

20 多年来, 济阳坳陷每年上报探明石油地质储量均在 $1 \times 10^8 \text{t}$ 以上, 并形成了具有胜利特色的“复式油气聚集区(带)”、“滚动勘探”^[1]、“低熟油”^[2]、“构造坡折带”^[3]和“低位扇”^[4]等油气勘探理论和技术方法, 它们对胜利油田的发展起到了巨大的推动作用。当前胜利油田正面临着新的挑战, 勘探程度高、难度越来越大, 油气增储稳产难度加大。为了实现胜利油田持续稳定发展的目标, 除了必须有新的思路与新的理论来指导油气勘探并加强科学技术在油气勘探中的应用外, 还必须对油气资源有正确的认识, 合理地制定油气资源勘探战略。在应用盆地模拟技术进行石油资源评价的今天, 如何合理地划分盆地数值模拟单元、比较准确地求取模拟单元的资源量便成了石油资源评价中的技术关键。济阳坳陷下第三系石油资源评价从含油气系统思路出发, “聚油单元”的提出及划分较好地解决了济阳坳陷以往油气资源评价中存在的各评价单元资源量求取不准、资源潜力分析难度大等问题。

1 基本地质特征

济阳坳陷是在华北地台基础上发展起来的中、新生代断陷—断拗—拗陷盆地, 发育了东营、沾化、

车镇和惠民 4 个拉张型箕状陆相盆地, 形成了凸凹相间排列的构造格局, 各凹陷普遍具有“北断南超、北厚南薄”的特征, 主要地层均为下第三系沙河街组的湖相沉积。各凹陷通常具有以下沉积特征: a) 沉降中心与沉积中心多具有一致性和继承性; b) 近物源、多物源、多沉积体系和多储集岩类型; c) 围绕沉降与沉积中心具同心圆结构, 由沉降与沉积中心处的深湖相向四周依次发育浅湖相、滨湖相和河流相。在成藏方面主要具有以下特征: a) 发育多套和多种类型的烃源岩, 不同烃源岩的生烃潜力具有明显的差异; b) 具有多期次的生、排烃高峰期; c) 油气运移通道复杂, 圈闭类型多样; d) 多期成藏、“一源多藏”、“一藏多源”现象非常普遍; e) 发育“自生自储”、“古生新储”、“新生古储”等多种油气藏类型。

2 “聚油单元”研究

2.1 含油气系统的局限性

含油气系统(petroleum system)概念经过十余年的发展^[5-7], 已成为评价油气资源潜力、认识油气分布规律、指导油气勘探的有力工具。但每一个含油气系统有其自身的特点, 因此对其分类十分重要。而国外的一些分类方案(如 Demaison 和

Huizinga, 1991^[5]) 应用于中国均存在一定的局限性。含油气系统的划分是含油气系统研究中的一项重要内容,其核心是循着油气从烃源岩到圈闭的过程,追踪确定油气在三维地质单元内活动的最大外边界,其中油气二次运移研究居于核心地位。Margoen 等在关于含油气系统的论述中,将油气二次运移简单地定义为从生烃灶中排出经输导层运移到圈闭的一次过程^[6],该模式只适用于一期成藏的简单含油气系统^[8]。济阳坳陷具有多套烃源岩,油气的生成、运移与聚集成藏具多期性,形成了在垂向上重叠、平面上交叉的多含油层系和多种油气藏类型的复式油气聚集带的特点。因此,国外含油气系统的划分方案应用于济阳坳陷可操作性差,同时在研究上存在尺度效应^[9]。济阳坳陷下第三系石油资源评价引入含油气系统研究的基本思路,加强主运移通道控烃的研究,提出了“聚油单元”的概念,并强调“聚油单元”是盆地数值模拟和资源潜力分析的有效单元。

2.2 “聚油单元”的概念与划分原则

油气主运移通道研究是划分“聚油单元”的重要依据之一。在油气二次运移、聚集与成藏过程中,决定地下流体运移方向的是势梯度,而不是压力梯度。油气自烃源岩进入到输导体系以后,在其各自的势场内,在由高势区向低势区变化的方向上,总是沿着阻力最小的一个或多个呈不规则条带状的主通道运移,并逐渐由分散到集中,直到聚集成藏。油气勘探实践表明,输导体系中的油气主运移通道在油气藏形成过程中起着十分重要的作用,许多学者对此进行过研究^[10-15]。济阳坳陷的油气主运移通道主要有断裂或裂缝、骨架砂体或发育有骨架砂体的构造脊及不整合面等3种类型。油气以沿不同级别生长断层进行垂向运移为主,以沿骨架砂体或发育有骨架砂体的构造脊和不整合面等进行侧向运移为辅。油气藏大部分分布于烃源区范围的洼陷带或附近的斜坡带,远离烃源区的凸起上很少有油气聚集成藏。

为了确保资源评价中油气资源潜力分析的相对准确,并可通过盆地数值模拟比较容易地实现,模拟、评价单元的划分是关键。在济阳坳陷下第三系石油资源评价中,根据济阳坳陷的地质特点,并参考“含油气系统——从烃源岩到圈闭”的基本研究思路,提出了“聚油单元”这一概念,并将“聚油单元”定义为具有相对独立的烃类生、排、运聚系统和统一的烃类运移指向的地质体,它是盆地模拟和资源潜力分析的基本单元。聚油单元的划分主要遵循以下3个原则。

a) 以构造轴线,如排烃槽、凸起上的构造脊等,

作为相邻聚油单元的分界线。排烃槽就像地形上的分水岭分隔着不同水系一样,在排烃槽的两侧油气呈相背运移,不同聚油单元的烃源岩生成、排出的油气互不穿越混合,使每一聚油单元分别构成了一个相对独立的体系。实质上它是一种三维空间分布的汇油范围。一个聚油单元可以有一个或多个这样的汇油区(主要取决于其古流体势的分布与演化特征),油气在其中运移、聚集直至成藏。

b) 南部隆起区以剥蚀线为界。

c) 洼陷区考虑岩性油藏的整体性与不可分性。

根据上述原则,结合油源对比的研究成果,将济阳坳陷划分为28个聚油单元(图1)。济阳坳陷的聚油单元是经过多次叠加或调整改造,具有以聚油“一层多层”(即同一烃源岩层生成的烃类提供给不同的含油层系)或“一层多源”(即同一含油层系接受二个或二个以上层系的烃类)的特点。

3 聚油单元的资源量

单元作为济阳坳陷下第三系石油资源评价的基本单元,在地层、构造、烃源岩及油-源对比等大量研究工作的基础上,通过盆地数值模拟和排、聚系数的研究,准确地求取了各聚油单元的资源量。

3.1 生、排烃量与排烃系数

济阳坳陷下第三系石油资源评价主要通过盆地数值模拟求取生烃量、排烃系数和排烃量。盆地数值模拟就是从石油地质的物理化学机理出发,首先建立地质模型,然后将地质模型抽象为数学模型,最后编制相应的软件,从而由计算机定量模拟在时空概念下含油气盆地的形成和演化以及烃类的生成、运移和聚集^[16]。

国内外研究表明,烃源岩的排烃系数可以较低,也可以很高,最高可达90.0%以上^[17-20]。求取排烃系数有多种方法,其中较为先进的方法是采用泥岩压实平衡法原理计算排烃系数,它是通过盆地数值模拟来实现的。参考国内外部分学者用不同研究方法得出的烃源岩排烃系数,结合前人对济阳坳陷梁28井、利14井源岩排烃研究的结果^[16],在具体的盆地数值模拟求取各聚油单元排烃系数的过程中,针对不同地区、不同烃源岩类型,分别考虑了与之相关的影响因素。如在东营凹陷主要考虑了自沙三段中亚段开始的欠压实作用;在沾化、车镇凹陷考虑了油泥岩低效排烃的影响;油页岩考虑了页理对排烃的有利影响等。盆地数值模拟求取的济阳坳陷各聚油单元排烃系数范围一般为14.3%~29.3%。

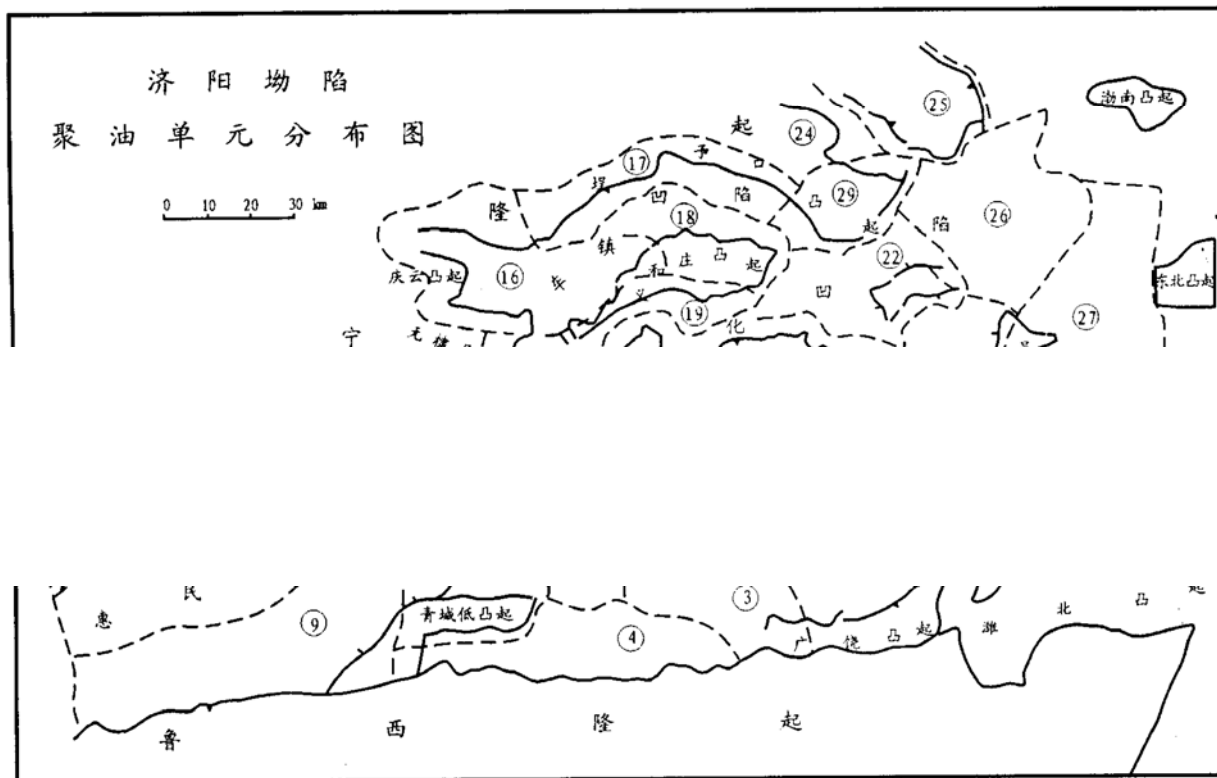


图1 济阳拗陷聚油单元分布图

Fig. 1 Distribution of oil accumulating units in the Jiyang Depression

通常在 25.0% 左右,最高可达 47.7% (表 1)。

3.2 聚集系数

烃源岩排出的烃类可分为两部分,即烃类在运移过程中排出的烃类和排出的烃类在运移过程中排出的烃类。

30.0%^[21]。盛志纬认为,一股盆地和凹陷的聚集系数均在 50.0% 以上,聚集系数远大于排烃系数^[22]。前人研究表明,烃类的聚集量占排烃量的 50.0% 左右是比较合理的。济阳拗陷下第三系石油资源评价中,采用了以地质综合研究法为主、网格统计法为辅

4 资源潜力分析

石油资源量,尤其是远景石油资源量和远景石油资源丰度是评价一个地区资源潜力的重要指标。

资源丰度在 $10.0 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 以上,其中以滨县凸起南坡最高,为 $70.7 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ (表 1)。这些聚油单元是济阳拗陷今后油气勘探最有潜力的地区。

车镇凹陷勘探程度较低,只有 23.0%,早期完钻的探井油气显示差,探井成功率很低。近年来,通

取:

$$Q_{\text{资源量}} = aQ_{\text{排}}$$

式中: $Q_{\text{资源量}}$ ——石油资源量, 10^8 t ;

a ——聚集系数, %;

$Q_{\text{排}}$ ——排烃量, 10^8 t 。

2000 年,干渠凹陷北部的油气勘探获得重大突破,发现富台油田。富台油田控制含油面积 17.4 km^2 ,控制石油地质储量 $2.107 \times 10^4 \text{ t}$ 。

此外,东营凹陷北带勘探程度较高,但评价认为在东营凹陷各聚油单元中,该单元是资源量和远景石油资源量最高、远景石油资源丰度较高的“聚油单

表 1 济阳坳陷各“聚油单元”资源评价综合表

Table 1 Comprehensive resource evaluation of various oil-accumulating units in the Jiyang Depression

序号	聚油单元名称	生烃量/ 10 ⁸ t	排烃系数/ %	排烃量/ 10 ⁸ t	聚集系数/ %	资源量/ 10 ⁸ t	远景石油 资源量/10 ⁸ t	远景石油资源 丰度/(10 ⁴ t/km ²)
1	东营中央背斜带	51.2	23.9	12.2	57.2	7.0	2.5	33.3
2	王家岗—八面河	57.6	21.3	12.3	42.4	5.2	2.0	12.9
3	乐安—纯化鼻状构造	24.2	24.8	6.0	51.4	3.1	0.3	4.4
4	博兴洼陷南坡	15.9	21.6	3.4	34.9	1.2	0.6	6.4
5	青城低凸起北坡	4.0	20.6	0.8	36.2	0.3	0.1	1.6
6	平方王—大芦湖	31.3	23.2	7.2	56.6	4.1	1.8	21.4
7	滨县凸起南坡	36.2	23.0	8.3	51.7	4.3	2.3	70.7
8	东营凹陷北带	139.2	22.1	30.7	42.7	13.1	4.4	42.2
9	惠民凹陷南坡	24.6	27.9	6.9	36.3	2.5	1.5	8.8
10	惠民中央背斜带	42.9	27.5	11.8	42.3	5.0	2.4	16.4
11	惠民凹陷北部	0.4	23.3	0.1	34.9	0.0	0.0	0.0
12	沙河街鼻状构造	6.1	18.7	1.1	29.3	0.3	0.3	1.9
13	阳信洼陷北部	2.9	18.4	0.5	39.0	0.2	0.2	3.8
16	东风港—套尔河	16.3	24.4	4.0	45.3	1.8	1.0	7.2
17	车镇凹陷北	18.5	27.6	5.1	41.1	2.1	1.9	22.9
18	义和庄凸起北坡	13.6	27.6	3.7	66.7	2.5	1.2	17.9
19	义和庄凸起南坡	6.4	18.4	1.2	34.2	0.4	0.1	3.4
20	陈家庄凸起北坡	19.8	14.3	2.8	28.2	0.8	0.5	3.9
21	孤南—富林	21.2	25.4	5.4	24.2	1.3	0.7	9.6
22	渤南—孤岛	50.8	29.3	14.9	61.7	9.2	2.1	24.3
23	埕东地区	10.5	29.2	3.1	55.3	3.0	1.6	30.8
25	埕岛地区	0.8	47.7	0.4	50.0	5.6	0.6	9.0
26	桩西—长堤—孤东	37.2	25.8	9.6	51.0	7.1	2.5	20.1

注:表中因 14 流钟洼陷南坡、15 流钟洼陷北坡、24 埕东北部、27 垦东地区和 28 青坨子等 5 个聚油单元在济阳坳陷内的生烃量非常少、可以忽略不计而没有列入。远景石油资源量=石油资源量-(探明储量+控制储量+预测储量);远景石油资源丰度=远景石油资源量/聚油单元面积。

元”,分别为 13.1×10⁸t、4.4×10⁴t 和 42.2×10⁴t/km²,展示了巨大的油气勘探潜力。2002 年,东营凹陷北带西部的王庄—宁海地区油气勘探获重大突破,发现了以大型鼻状构造为背景、发育馆陶组、沙一段和沙三段等多套含油层系、油藏规模较大的地层超覆油藏和潜山油藏。东营凹陷北带已成为胜利油区上报探明储量的重点区带。

总之,在济阳坳陷下第三系石油资源评价中,以“聚油单元”作为盆地模拟和资源潜力分析的基本单元,较好地解决了以往资源评价中不能合理求取聚集系数、区带资源量计算不准、资源潜力分析难度大等问题。资源评价结果表明,从目前的勘探程度、认识程度来看,由于济阳坳陷内各单元地质条件的复杂性,油气资源的富集程度均有较大的差异;同时由于勘探程度的不均衡,低勘探程度区仍有希望发现大、中型油气田,中、高勘探程度区仍存在层系、类型等勘探程度的不均衡,也还有较大的勘探潜力。

参考文献:

[1] 蒲玉国,荣启宏. 东营凹陷纯梁地区滚动勘探开发潜力分析[J]. 石油勘探与开发,1999,26(6):18-22.

[2] 张林晔,王铁冠. 八面河低成熟油生物标志化合物碳同位素分析和研究[J]. 地质地球化学,1996,(6):73-76.

[3] 冯有良,李思田. 东营凹陷沙河街组三段层序低位域砂体沉积特征[J]. 地质论评,2001,47(3):278-286.

[4] 陈广军,张世民,等. 斜坡带低位扇砂岩体岩性油气藏勘探方法——以埕岛潜山披覆构造东部斜坡带为例[J]. 石油学报,2002,23(3):35-38.

[5] Demaison G, Huizinga B J. Genetic classification of petroleum system[J]. AAPG Bull, 1991, 75(10):1626-1643.

[6] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap[M]. AAPG Memoir 60, 1994. 3-24.

[7] Perrodon A. Petroleum systems: models and application[J]. J. of Petrol Geol, 1992, 18: 319-326.

[8] 赵文智,何登发,瞿辉,等. 复合含油气系统中油气运移流向研究的意义[J]. 石油学报,2001,22(4):7-12.

[9] 张映红,赵文智,李伟,等. 应用油气运聚单元改善圈闭预测及评价质量[J]. 石油学报,2001,22(4):18-23.

[10] 王震亮,陈荷立. 有效运聚通道的提出与确定初探[J]. 石油实验地质,1999,21(1):71-75.

[11] 邹华耀,胡文义. 生长逆断层与油气生成、运移和聚集——以柴达木盆地尕斯库勒为例[J]. 石油与天然气地质,1993,14(3):200-206.

[12] 邹华耀,侯读杰,张传林,等. 断层在油气二次运移中的作用研究[J]. 江汉石油学院学报,1996,18(1):7-13.

[13] 潘钟祥. 不整合面对于油气运移聚集的重要性[J]. 石油学

- 报, 1983, 4(4): 1- 10.
- [14] 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- 131.
- [15] 张照录, 杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133- 135.
- [16] 石广仁. 油气盆地数值模拟方法(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [17] 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992.
- [18] 徐成华, 刘忆军. 谭庄、沈丘凹陷下白垩统生油层排烃效率研究[J]. 河南石油, 1994, 8(2): 11- 19.
- [19] 白新华, 吴玉生. 应用古龙凹陷生油岩地化数据资料进行排烃特征分析[J]. 大庆石油地质与开发, 1993, 12(2): 20- 23.
- [20] 张晓宇, 梁卫. 油气初次运移的控制因素与排烃效率[J]. 江汉石油学院学报, 1993, 15(2): 23- 26.
- [21] 查明. 断陷盆地油气二次运移与聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [22] 盛志伟. 关于油气聚集量问题[J]. 石油实验地质, 1989, 11(3): 228- 233.
- [23] 江汉油田石油地质志编写组. 中国石油地质志——江汉油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [24] 宋国奇. 多因素油气聚集系数的研究方法及其应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 168- 171.
- [19] 白新华, 吴玉生. 应用古龙凹陷生油岩地化数据资料进行排

STUDY OF PETROLEUM RESOURCE POTENTIAL APPLING OIL-ACCUMULATING UNITS IN THE JIYANG DEPRESSION

SUI Feng-gui^{1,2}, LUO Jia-qiang^{2,3}

(1. Department of Earth Resources and Geosciences, China University of Mineral, Beijing 100083, China;
2. Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257001, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The petroleum system philosophy has great utility for evaluating oil-gas resource potential, understanding the distribution law of hydrocarbon and guiding oil-gas exploration in basins. The petroleum system subdivision is based on the critical process analysis of hydrocarbon from source rocks to traps. In this process, the largest outside boundary of oil-gas migration in a 3-D geological unit can be traced. The research on oil-gas secondary migration plays the leading role in the subdivision. The Jiyang Depression was divided into 28 oil-accumulating units on the basis of the petroleum system philosophy from source rocks to traps in the Eogene petroleum resource evaluation of the Jiyang Depression. Petroleum resources of every oil-accumulating unit were calculated on the bases of basin simulation and the study of hydrocarbon expulsion coefficient and accumulation coefficient. The resource potential was analyzed in the light of the petroleum resource volume and the prospect petroleum resource volume. The abundant degree of prospect petroleum resources and the future petroleum explorative potential in the Jiyang Depression is still great.

Key words: main migration pathway; oil-accumulating unit; resource potential; petroleum system; the Jiyang Depression