

文章编号: 1000-0747(2003)03-0001-04

济阳拗陷油气勘探现状及主要研究进展

李丕龙¹, 金之钧², 张善文¹, 庞雄奇², 肖焕钦¹, 姜在兴²

(1. 中国石化胜利油田有限公司; 2. 石油大学(北京))

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“砂岩透镜体成藏门限及其控油气作用”(40172057)

摘要: 济阳拗陷勘探 40 年共发现 70 个油气田, 资源探明程度达 56.97%, 已属中高勘探程度区。济阳拗陷剩余石油资源总量为 $46.72 \times 10^8 \text{ t}$, 占拗陷剩余资源总量的 55%, 整个拗陷还有较大的油气勘探潜力。目前勘探存在 3 方面问题: ①有待重新评价资源潜力和重新总结油气分布规律; ②隐蔽油气藏(尤其是岩性油气藏)在新发现油气藏中所占比例逐年增大, 但目前缺乏有效的预测理论和勘探技术; ③岩性圈闭含油气性变化大, 成藏机理还认识不清。用门限控理论研究的成果, 济阳拗陷进入成藏门限的 19 个成藏体系的剩余资源潜力为 $1.42 \times 10^8 \sim 6.31 \times 10^8 \text{ t}$, 7 个成藏体系尚未进入成藏门限; 根据三元复合成藏理论, 岩性油气藏的形成必须满足 3 个条件: 一是砂体的成因类型要有利, 二是包裹砂体的烃源岩生、排烃要达到一定数量, 三是砂体的物性要达到一定的临界条件。图 8 表 2 参 12

关键词: 济阳拗陷; 勘探现状; 隐蔽油气藏; 成藏门限; 发现过程; 三元成藏

中图分类号: TE1

文献标识码: A

1 济阳拗陷油气勘探成果

济阳拗陷面积为 $26\,000 \text{ km}^2$, 由东营、惠民、沾化、车镇凹陷和若干凸起组成。历经 40 年勘探开发, 已发现 70 个油气田, 探明含油面积 $2\,178.8 \text{ km}^2$ 、含气面积 239.3 km^2 , 探明石油地质储量 $40.1 \times 10^8 \text{ t}$ 、天然气地质储量 $361.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见图 1a); 至 1999 年底, 累计完成二维地震 $183\,384.06 \text{ km}^2$ 、三维地震 $17\,421.86 \text{ km}^2$, 完钻各类探井 5293 口, 探井密度 580 口/km^2 (见图 1b) [1]。

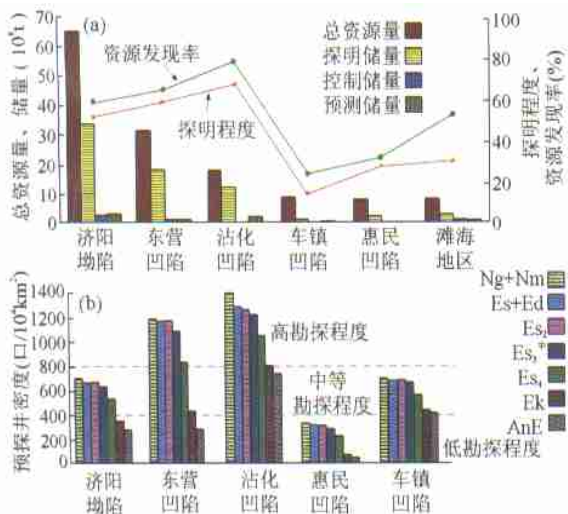


图 1 济阳拗陷资源探明程度(a)及不同层系预探井(b)对比图

济阳拗陷资源探明程度达 56.97%, 但纵向勘探程度极不均衡, 探明与控制石油储量的 90% 和天然气储量的全部分布在第三系 (见图 2), 沙二段、沙三段、沙四段

约占 50%, 馆陶组约占 28%, 3500m 以下深层井较少。

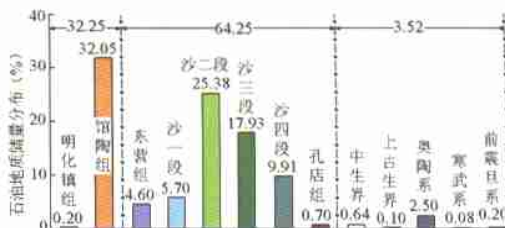
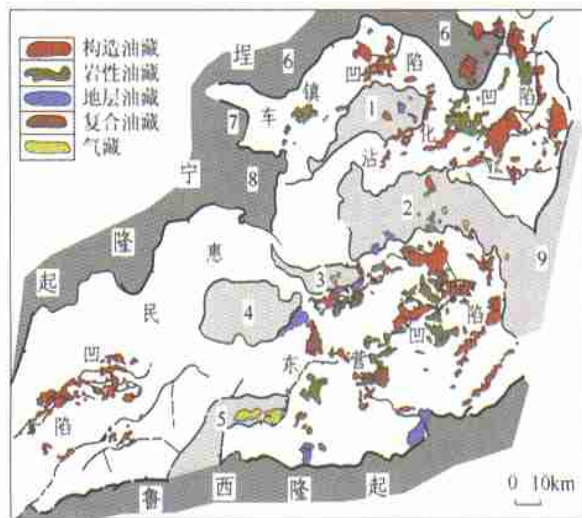


图 2 济阳拗陷石油地质储量纵向分布图

四大凹陷已发现的 65 个油气田和储量平面分布也很不均衡 (见图 3、表 1)。



1—义和庄凸起; 2—陈家庄凸起; 3—滨县凸起; 4—林樊家披覆背斜;
5—青城凸起; 6—埕子口凸起; 7—庆云凸起; 8—无棣凸起;
9—垦东—青坨子凸起

图 3 济阳拗陷油气藏平面分布图

表1 济阳坳陷油气藏及储量平面分布表

凹陷	油气田(%)	石油地质储量(%)	天然气储量(%)
东营凹陷	51	55	86
沾化凹陷	32	35	
惠民凹陷	8	7	14
车镇凹陷	9	3	

在油气勘探取得丰硕成果的同时,我国形成并逐步完善了一整套陆相石油地质理论。其中,源控论^[2-3]曾有效指导渤海湾盆地勘探初期和早期(20世纪50~60年代)的油气大发现;对正向二级构造带“整体解剖、滚动勘探开发”的勘探思想成功指导了渤海湾盆地勘探早中期(20世纪70~80年代)许多凹陷的油气勘探,总结出的复式油气聚集理论^[4-5]使我国油气地质理论与勘探技术达到了新水平;场环对应控油气理论^[6-7]突出烃源区对油气藏分布特征的宏观地质控制作用;坡折带低水位砂体控油理论^[6-8]指出,断陷湖盆中的构造坡折带是勘探岩性油气藏的有利区带(见图4)。

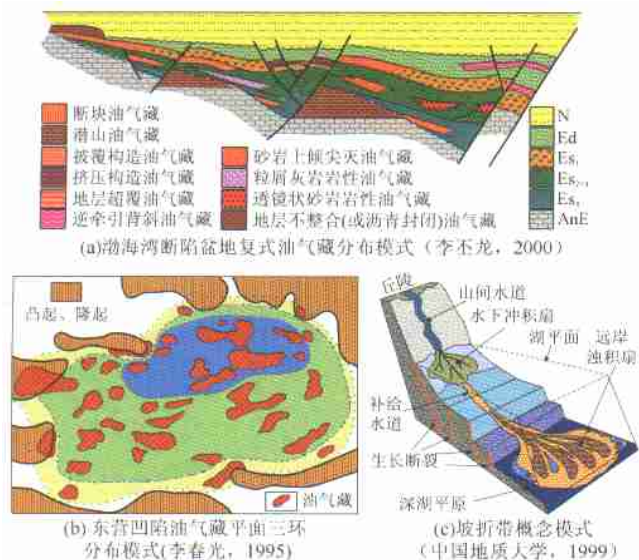


图4 济阳坳陷油气勘探理论概念模式图

2 济阳坳陷油气勘探的新进展

济阳坳陷是我国目前最重要的产油基地,但勘探难度不断增加,发现大型整装构造油气藏的概率变小。20世纪90年代,勘探重点已由构造油气藏转为隐蔽油气藏,2000年以来探明储量的60%~70%属于隐蔽油气藏,而且新发现油气藏的规模日益变小,埋藏变深。目前勘探存在的重要问题是:①沾化凹陷计算的资源量为 17.5×10^8 t,油气发现率和探明程度均已超过70%,但近年储量仍每年增长约 3000×10^4 t,看来资源量计算值偏小;车镇凹陷计算的资源量为 8×10^8 t,探明率小于10%,资源发现率20%左右,目前发现的储

量不到 1×10^8 t。其原因是资源评价结果不准确,还是认识有待深化?②各种隐蔽圈闭的充满度和含油性差别很大,隐蔽油气藏的成藏机理是什么?③复式油气聚集理论和坡折带低位域砂体控油气理论都未明确岩性圈闭的具体发育位置及其含油气性,如何预测岩性圈闭分布及其含油气性?针对这些问题,在系统分析和大量实例研究的基础上,开展了对济阳坳陷古近系沉积体系与油气运聚机理的攻关研究,经过两年探索,目前已取得阶段性成果。

2.1 油气成藏门限理论与应用

成藏门限指油气成藏体系内形成具有商业价值油气藏过程中必然耗散的烃量最小值^[9,10],从物质平衡的角度而言,即研究区油气排出烃源岩后尚未进入圈闭成藏前的最低损耗量(见图5)。成藏门限是客观存在的,物理模拟实验结果证明,油气在初次运移和二次运移中均有油气的损耗和散失,只有满足生烃量超过这些损耗量这一临界地质条件,油气藏才可能形成。我国近500个沉积盆地中,迄今仅在82个盆地发现油气田^[10],除了所处勘探阶段不同和技术上的原因外,生烃量未达到成藏门限可能是根本原因。

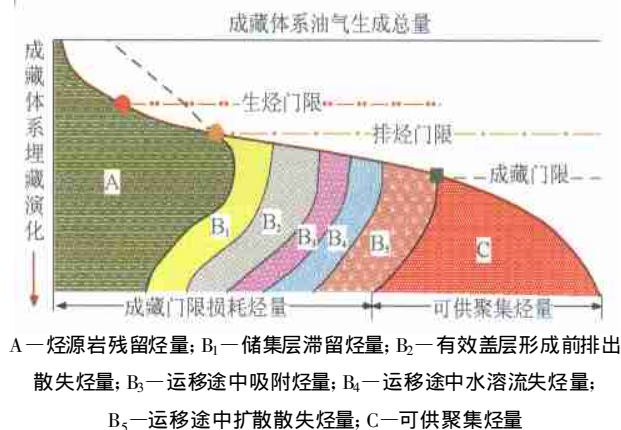


图5 成藏门限判别模型

依据济阳坳陷油气地质特点,将其划分为28个成藏体系(见图6),分别计算主要成藏体系的油成藏门限,然后与影响其运聚效率的地质因素进行多元逐步回归,建立的关系式(相关系数为0.95)为:

$$Y = 8.7023 \times 10^9 + 9.065 \times 10^7 X_1 - 4.0024 \times 10^9 X_2 + 7.6493 \times 10^5 X_3 - 1.0001 \times 10^9 X_4 - 1.1749 \times 10^8 X_5 - 3.6519 \times 10^6 X_6$$

式中 Y ——油成藏门限, 10^4 t; X_1 ——排烃强度, 10^4 t/km²; X_2 ——砂地比, %; X_3 ——运聚范围, km²; X_4 ——构造变动次数; X_5 ——目的层倾角, (°); X_6 ——地层剥蚀厚度, m

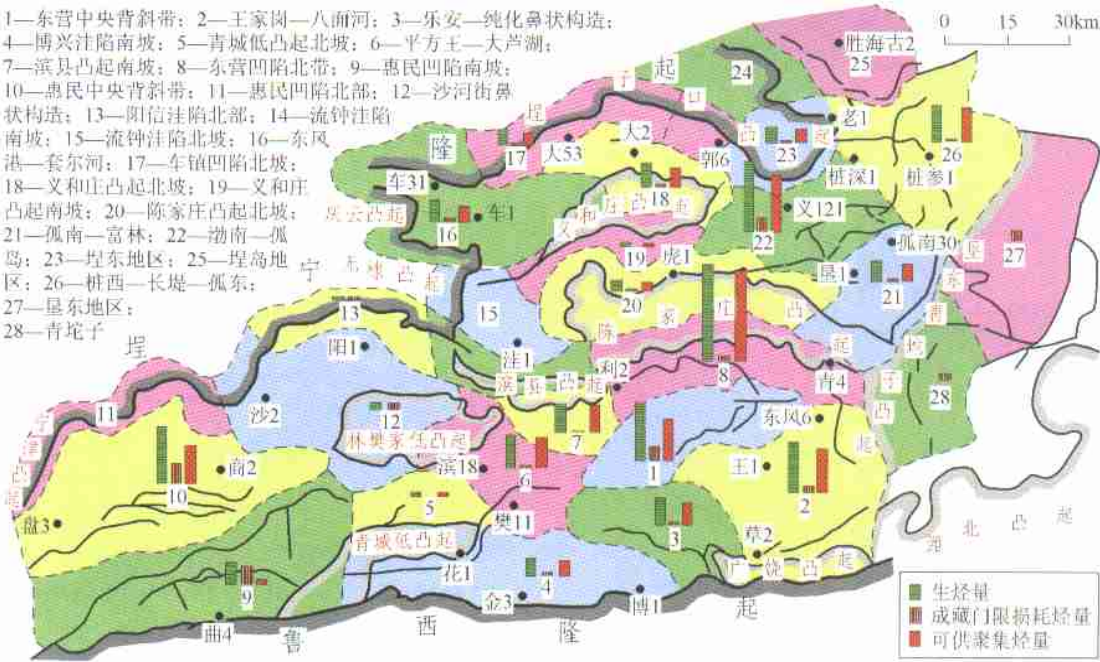


图 6 济阳拗陷各成藏体系成藏门限示意图

利用此关系式, 可以求出低勘探程度成藏体系的成藏门限, 与其生烃量比较, 判断是否进入成藏门限。判别结果, 济阳拗陷的 26 个成藏体系(见图 6)中, 19 个进入成藏门限, 另 7 个尚未进入成藏门限。

2.2 油气藏规模序列与资源潜力

应用发现过程模型^[1] 预测探区资源潜力及结构, 有利于进行探区勘探效益分析及经济评价。

济阳拗陷各成藏体系中剩余油资源排在前五位的是第 6(平方王—大芦湖)、第 22(渤南—孤岛)、第 10(惠民中央背斜带)、第 1(东营中央背斜带)、第 2(王家岗)成藏体系(见图 7), 剩余油资源量为 $28 \times 10^8 \text{ t}$, 占济阳拗陷待发现资源总量的 55%。

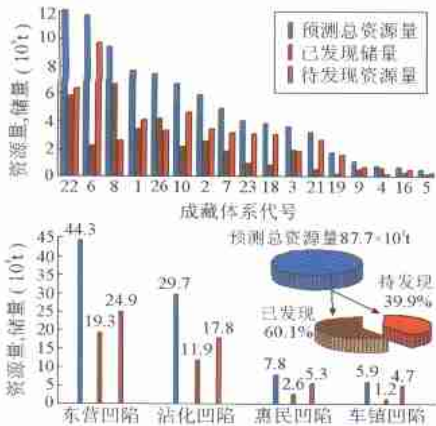


图 7 济阳拗陷各成藏体系及各凹陷预测资源量比较图

在各凹陷中, 总资源量和剩余资源潜量最大是东营凹陷, 其次是沾化凹陷、惠民凹陷、车镇凹陷(见表 2)。整个济阳拗陷总资源量中还有近 40%待发现, 东营凹陷

勘探程度最高(已达到 44%), 勘探空间仍然较大, 勘探程度最低的车镇凹陷仅发现总资源量的 20%。

表 2 济阳拗陷各凹陷预测资源量比较表

资源量类型	东营凹陷	沾化凹陷	惠民凹陷	车镇凹陷	济阳拗陷
总资源量(10^8 t)	44.3	29.7	7.8	5.9	87.7
剩余资源量(10^8 t)	24.9	17.8	5.3	4.7	41.6

2.3 岩性圈闭三元成藏条件及预测

岩性圈闭的分布和含油气性取决于三方面: ①砂体类型(沉积环境), ②埋藏深度(生、排烃条件), ③砂体物性。三者均满足一定条件时才具备成藏条件。

砂体分布和含油气性受沉积作用控制(见图 8a)。济阳拗陷古近系砂体主要分布在深湖浊积扇和三角洲前缘滑塌浊积扇内, 其次为水下扇和三角洲。孤立的砂体只有接触有效烃源岩或被其包围才有可能形成油气藏^[9], 而且烃源岩的生、排烃量要足够多(见图 8b)。砂体本身是很好的运移通道, 被泥岩包裹的砂体是相对低势区, 优先捕获烃源岩排出的油气成藏^[12]。济阳拗陷古近系生油门限深度大于 2000m, 排烃门限深度大于 2200m, 统计古近系透镜体岩性油藏的深度, 埋深大于 2000m 的砂体开始储油, 含油砂体集中分布于 2800~3500m 深度。被烃源岩包裹的浊积扇砂体含油气性较好, 其次是三角洲砂体和水下扇砂体; 深水浊积砂体的油气充满度较三角洲前缘滑塌浊积砂体要高。

影响岩性圈闭含油气性的另一重要因素是砂体内部的储集条件, 孔渗性、粒径大小、分选性(级差)是影响和控制油气充注量的主控因素, 只有当物性达到一定临

界值时,砂体才能接收来自外部的油气(见图8c)。济阳坳陷含油气砂体的平均孔隙度大于12%,渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,分选至少为差—中等,平均粒径大于0.2 mm,油气充满度随物性变好而增高。

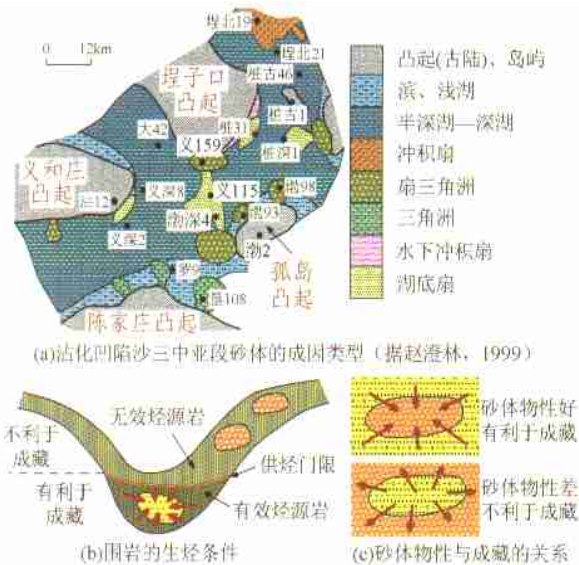


图8 岩性圈闭三元成藏概念模型

在查明目的层系或勘探目标区砂体的沉积环境、成因类型、埋深、物性 etc 情况下,可以根据三元成藏理论预测砂体是否含油气。

3 结论

济阳坳陷已进入中高勘探成熟阶段,但勘探潜力仍然很大,总剩余油资源量为 $46.72 \times 10^8 \text{ t}$,挖潜勘探应以隐蔽油气藏为主,主要勘探领域是发育隐蔽油气藏的坡折带低水位区。济阳坳陷未进入成藏门限的7个成藏体系不能开展大规模油气勘探,已进入成藏门限的19个成藏体系剩余油资源潜力为 $1.42 \times 10^8 \sim 6.31 \times 10^8 \text{ t}$ 。

参考文献:

- [1] 郭元岭,赵乐强,石红霞,等. 济阳坳陷探明石油地质储量特点分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 33-36.
- [2] 张文昭. 中国陆相大油田[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [3] 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, 3(2): 9-13.
- [4] 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征[J]. 石油学报, 1980, 1(1): 6-20.
- [5] 胡见义,童晓光,徐树宝. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. 石油勘探与开发, 1986 13(1): 1-8.
- [6] 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.
- [7] 李丕龙. 富油断陷盆地油气环状分布与惠民凹陷勘探方向[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 146-148.
- [8] 林畅松,潘元林,肖建新,等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-264.

- [9] 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油气作用[J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 53-57.
- [10] 周海燕,庞雄奇,姜振学,等. 石油和天然气运聚效率的主控因素及定量评价[J]. 石油勘探与开发, 2002 29(1): 14-18.
- [11] Kaufman G M, Baker Y, Druyt D. A probabilistic model of oil and gas discovery[A]. Methods of Estimating the Volume of Undiscovered Oil and Gas Reserves (AAPG Studies in Geology # 10) [C], 1975. 113-142.
- [12] 王捷,关德范. 油气生成运移聚集模型研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 198-207.

第一作者简介: 李丕龙(1963-),男,山东章丘人,胜利油田教授级高级工程师,主管胜利油田勘探工作。地址: 山东省东营市聊城路3号,胜利油田有限公司,邮政编码: 257001。

收稿日期: 2003-01-10

(编辑、绘图 王孝陵)

The present research status and progress of petroleum exploration in the Jiyang Depression

LI Pi-long¹, JIN Zhi-jun², ZHANG Shan-wen¹, PANG Xiong-q², XIAO Huan-qin¹, JIANG Zai-xing² (1. Shengli Oil Field Ltd. Co., Sinopec, Shandong 257001, P. R. China; 2. University of Petroleum, Beijing 102249, P. R. China)

Abstract: Since commercial oil being gained in 1962, 70 fields, $40.1 \times 10^8 \text{ t}$ oil reserves and $361.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ natural gas reserves have been found in the Jiyang Depression. The resources proved degree has reached up to 56.97%, which shows the depression is at medium to high exploration degrees. The total residual resources are $46.72 \times 10^8 \text{ t}$ in the Jiyang Depression, suggesting there is still a good exploration potential. However, there are three problems to the exploration at present: ① there is magnitude discovery every year in some sags with high exploration degree whereas low exploration effect in some sags with low exploration degree, which indicates that resources potential should be reappraised or petroleum distribution pattern should be further summarized; ② efficient forecast theory and method are short of in the exploration of subtle traps (especially lithological reservoirs), and the ratio of the subtle oil-gas pool in the newly found pools has been increased year after year, foreshowing a new exploration potential domain; ③ accumulation mechanism of lithological reservoirs is still unknown. The threshold controlling petroleum research shows that in Jiyang Depression, 7 of 26 accumulation systems have not reached accumulation threshold, and large-scale exploration should not carried through, whereas 19 of 26 have reached accumulation threshold with residual resources potential from $1.42 \times 10^8 \text{ t}$ to $6.31 \times 10^8 \text{ t}$. Based on the ternary accumulation theory, three conditions must be met in the formation of oil accumulation in lithological reservoir: favorable sedimentary environment and sand body type, favorable generation and expulsion conditions of source rock, and physical property of sand body reached certain critical condition.

Key words: Jiyang Depression; present exploration status; subtle trap; accumulation threshold; scale serial; ternary accumulation theory