

文章编号:1673-8217(2009)02-0009-05

# 黄河口凹陷油气勘探潜力分析

张如才,彭文绪,王德英,薛艳霞

(中国海洋石油(中国)有限公司天津分公司,天津塘沽 300452)

**摘要:**黄河口凹陷已历经勘探开发近30年,油气勘探程度较高,累计发现油气约 $5.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但近年来,随着勘探难度的加大,剩余油气资源量的规模倍受关注。应用油田规模序列法对该凹陷资源量进行了评价,结果表明:黄河口凹陷仍有88~146个 $180 \times 10^4 \text{ m}^3$ 级地质储量以上的待发现油气田,剩余资源总量达 $(6.57 \sim 7.43) \times 10^8 \text{ m}^3$ ,勘探潜力较大。在充分考虑供烃个数,构造带与源岩的接触关系和油气运移距离三个条件的基础上,进一步对凹陷各成藏有利区进行了分级分带划分,预测了油气有利分布区。

**关键词:**黄河口凹陷;油田规模序列法;油气资源评价;勘探潜力;有利分布区

**中图分类号:**TE122.11

**文献标识码:**A

黄河口凹陷位于渤海湾盆地沾化凹陷的东北部和渤中凹陷的南部,整体结构为一北断南超的箕状凹陷,东西两侧为断阶带,分别与庙西和沾化两个凹陷相邻,其中东西长70~80 m,南北宽40~50 m,面积约3 600  $\text{km}^2$ ,是渤海重要的油气产地之一(图1)。在勘探难度日益增加的今天,黄河口凹陷未发现油气资源量的规模倍受关注。本文正是通过凹陷内已发现油气田和部分含油气构造油气储量规模的统计分析,应用油田规模序列法评价了黄河口凹陷的资源量,给未来油气勘探提供了较为可靠的依据。



图1 黄河口凹陷构造纲要

## 1 勘探现状及问题

### 1.1 勘探现状

自1979年钻探BN1井以来,黄河口凹陷历经近29年的勘探,依次经历了自营、合作、自营与合作并进以及高速自营四个发展阶段。截止到2007年底,渤海油田累计在黄河口凹陷钻探95口探井,发现油气约 $5.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其分布特征可以概括为:平面上分布不均,纵向上差异明显。具体表现为:平面

上,油气主要分布在渤中25-1断隆带和中央隆起带(图2);纵向上,油气主要分布在浅层明下段,石油和天然气储量比例分别为60%和71%(图3)。

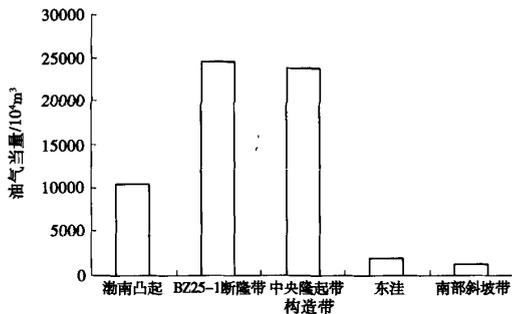


图2 黄河口凹陷不同区带油气分布

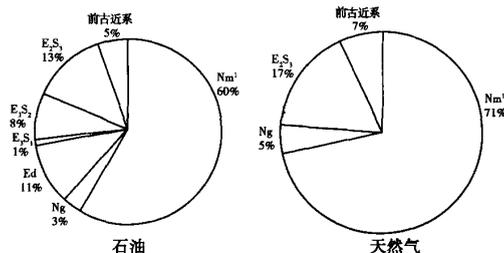


图3 黄河口凹陷不同层系油气分布比例

### 1.2 问题的提出

收稿日期:2008-08-26;改回日期:2008-09-22

作者简介:张如才,1981年生,2006年毕业于中国石油大学(北京)矿产普查与勘探专业,获硕士学位,主要从事石油地质与油气勘探工作。

基金项目:中国海洋石油公司重大课题“渤海湾地区油气形成富集与分布预测”(编号:SC06TJ-TQL-004)部分成果

随着黄河口凹陷勘探的持续进展,发现大型整装构造油气藏的难度将日益增加,这给我们未来的勘探工作提出了很大的挑战。截止到2007年底,黄河口凹陷已累计发现油气约  $5.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 进入2008年,凹陷内油气发现不断,总的地质储量已超过  $6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。前人曾应用不同的方法对黄河口凹陷的资源量进行了评价,评价结果存在较大的差异,但最大值仅为  $6.64 \times 10^8 \text{ t}$ , 与现阶段的勘探成果不太匹配,分析认为它主要是与评价当时所处的勘探阶段相关。勘探早期主要是应用盆地模拟法进行资源量评价,由于当时各类资料缺乏,特别是没有钻探凹陷生烃中心的井,致使评价时所使用的各类参数特别是地化指标缺乏代表性,从而导致评价结果偏低。在目前的勘探形势下,我们需要进一步深化对黄河口凹陷的勘探,但开展工作之前必须首先搞清楚两个问题:①该凹陷到底还剩余多大勘探潜力?②有利的油气分布区域在哪?

## 2 黄河口凹陷资源量评价

油气资源评价方法大致可分为成因法、统计法和类比法三大类<sup>[1~4]</sup>。本文是应用油田规模序列法来评价黄河口凹陷的资源量,该方法作为统计方法的一种<sup>[5,6]</sup>,主要是根据油气田序号与油气田规模之间的关系来计算资源量。

### 2.1 原理和方法

油田规模序列法的基本原理认为,油气分布受石油地质条件的控制,在一个完整的、独立的石油地质体系内,油气田规模大小同油气田序列号之间符合 Pareto 定律。

国内外的勘探实践证实,油气田规模分布符合 Pareto 定律,即:储量级别高的油气田往往被优先发现,少数大规模油气田的储量总和会占据整个油区石油总储量的绝大部分,而多数中小规模油气田的储量总和只占整个油区石油总储量的一小部分。Pareto 定律用于油气资源评价时,其分布的离散形式为<sup>[7]</sup> (Mandelbrot et al, 1995):

$$y_j = y_{\min} N^k / j^k = y_{\max} / j^k \quad (1)$$

式中: $y_{\max}$ ——区带最大油气田储量; $y_{\min}$ ——区带最小油气田储量; $N$ ——区带油气田总体的个数; $k$ ——Pareto 分布系数。

金之钧等<sup>[1]</sup>(1999)通过进一步的研究,(1)式可进一步表述为如下关系式:

$$Q_m / Q_n = (n/m)^k \quad (2)$$

对关系式(2)两边取对数,则有

$$(\lg Q_m - \lg Q_n) / (\lg m - \lg n) = -k \quad (3)$$

式中: $Q_m$ ——序号等于  $m$  的油气田的储量,  $10^4 \text{ t}$ ;  
 $Q_n$ ——序号等于  $n$  的油气田的储量,  $10^4 \text{ t}$ ; $k$ ——实数,表示油气田储量规模变化率; $m, n$ ——自然数,油气田规模序列号, ( $m \neq n$ )。

由上式可以看出,以油气田规模的序号为横坐标,以油气田规模为纵坐标,在双对数坐标系内大致形成一条斜率为  $-k$  的直线,不同石油地质体系仅仅是斜率不同而已。一般来说,勘探程度越高,其  $k$  值的可信度往往越高,越能真实反映油气田规模变化规律。

### 2.2 评价过程及结果

黄河口凹陷渤海矿区目前已发现了8个油气田及一系列的含油气构造,总石油地质储量约  $5.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 油气藏类型以构造油气藏为主,也包括少量岩性和地层油气藏,但是规模大小不一。本次资源量评价主要是针对以上8个油气田和部分含油气构造开展工作,其中,储量最大的油田是渤中25-1南油田,地质储量为  $1.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 储量最小的是渤中34-6含油气构造,地质储量为  $180.70 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。对上述油气田和含油气构造按储量规模排序后,在分别假设渤中25-1南为最大规模油田和次最大规模油田的模式下,在双对数坐标上做出了各油气田和含油气构造的储量规模和与之对应的规模序号之间的关系图(图4a、4b)。

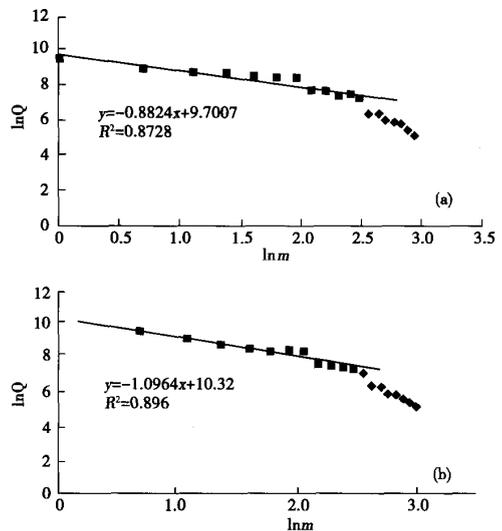


图4 黄河口凹陷油气田(含油气构造) 储量规模与序号关系

(a)假设渤中25-1南为最大规模油田;  
(b)假设渤中25-1南为次最大规模油田

可以看出,黄河口凹陷储量规模  $Q$  与油气田序列号  $m$  之间存在下列关系:

$$\ln Q = -0.8824 \ln m + 9.7007 \quad (4a)$$

$$\ln Q = -1.0964 \ln m + 10.32 \quad (4b)$$

利用以上两式可根据黄河口凹陷已发现的 8 个

油气田和部分含油气构造的地质储量重新计算其油气田序号(表 1)。在目前的勘探程度下,可以明显看出目前已发现的 8 个油气田和一系列的含油气构造只是整个凹陷油田序列的一部分,具体分析结果如下。

表 1 黄河口凹陷已经发现油气田和含油气构造规模序列

(a) - 假设渤中 25-1 南为最大规模油田						(b) - 假设渤中 25-1 南为次最大规模油田					
序号	油田	油当量/ $10^4 \text{m}^3$	$\ln m$	$\ln Q$	预测 序号	序号	油田	油当量/ $10^4 \text{m}^3$	$\ln m$	$\ln Q$	预测 序号
1	BZ25-1S	13 097.50	0.000	9.480	1	2	BZ25-1S	13 097.50	0.693	9.480	2
2	BZ34-1	7 529.25	0.693	8.927	2	3	BZ34-1	7 529.25	1.099	8.927	3
3	BZ25-1	6 581.90	1.099	8.792	3	4	BZ25-1	6 581.90	1.386	8.792	4
4	BZ28-2S	5 804.87	1.386	8.666	4	5	BZ28-2S	5 804.87	1.609	8.666	5
5	BZ26-3	4 969.54	1.609	8.511	5	6	BZ26-3	4 969.54	1.792	8.511	6
6	BZ34-2/4	4 892.36	1.792	8.495	6	7	BZ34-2/4	4 892.36	1.946	8.495	7
7	BZ29-4	4 581.99	1.946	8.430	7	8	BZ29-4	4 581.99	2.079	8.430	8
8	BZ33-1	2 141.20	2.079	7.669	10	9	BZ33-1	2 141.20	2.197	7.669	11
9	BZ27-4	1 998.70	2.197	7.600	11	10	BZ27-4	1 998.70	2.303	7.600	12
10	BZ28-2	1 923.00	2.303	7.562	12	11	BZ28-2	1 923.00	2.398	7.562	13
11	BZ26-2	1 759.13	2.398	7.473	13	12	BZ26-2	1 759.13	2.485	7.473	14
12	BZ36-2	1 295.60	2.485	7.167	18	13	BZ36-2	1 295.60	2.565	7.167	18
13	BZ35-2	602.10	2.565	6.400	42	14	BZ35-2	602.10	2.639	6.400	36
14	BZ34-6W	591.50	2.639	6.383	43	15	BZ34-6W	591.50	2.708	6.383	37
15	BZ36-3	395.30	2.708	5.980	68	16	BZ36-3	395.30	2.773	5.980	52
16	BZ27-5	350.00	2.773	5.858	78	17	BZ27-5	350.00	2.833	5.858	59
17	BZ34-5	303.92	2.833	5.717	92	18	BZ34-5	303.92	2.890	5.717	67
18	BZ34-3	221.62	2.890	5.401	131	19	BZ34-3	221.62	2.944	5.401	89
19	BZ34-6	180.70	2.944	5.197	165	20	BZ34-6	180.70	2.996	5.197	107

假设渤中 25-1 南为最大规模油田,在此模式下进行拟合,可以发现 1 号至 7 号大规模油气田已被发现,8 号至 165 号中、小规模油气田目前只发现了 12 个。利用(4a)式可进一步预测待发现油气田的储量规模,以  $180 \times 10^4 \text{m}^3$  作为最小经济油田规模的下限,则待发现油气田总数为 146 个,待发现石油资源总量为  $6.57 \times 10^8 \text{m}^3$ ,且在各个级别都有分布(图 5a)。其中,地质储量在  $(2\ 000 \sim 3\ 000) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 2 个,总地质储量为  $4955.89 \times 10^4 \text{m}^3$ ;  $(1\ 000 \sim 2\ 000) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 9 个,总地质储量为  $1.14 \times 10^8 \text{m}^3$ ;  $(500 \sim 1\ 000) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 26 个,总地质储量为  $1.83 \times 10^8 \text{m}^3$ ;  $(300 \sim 500) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 38 个,总地质储量为  $1.47 \times 10^8 \text{m}^3$ ;  $(100 \sim 300) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 71 个,总地质储量为  $1.63 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

假设渤中 25-1 南为次最大规模油田,在该模式下进行拟合,除剩下一个最大规模的油气田有待发现外,2 号至 8 号大规模油气田已被发现,9 号至 107 号中、小规模油气田目前只发现了 12 个。利用(4b)式可进一步预测待发现油气田的储量规模,以

$180 \times 10^4 \text{m}^3$  为最小经济油田规模下限,则待发现油气田总数为 88 个,待发现石油资源总量为  $7.43 \times 10^8 \text{m}^3$ ,且在各个级别都有分布(图 5b)。其中,待发现的单个最大规模油气田的地质储量为  $3.03 \times 10^8 \text{m}^3$ ;地质储量在  $(2\ 000 \sim 3\ 000) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 2 个,总地质储量为  $5\ 156.53 \times 10^4 \text{m}^3$ ;  $(1\ 000 \sim 2\ 000) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 7 个,总地质储量为  $8\ 805.39 \times 10^4 \text{m}^3$ ;  $(500 \sim 1\ 000) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 18 个,总地质储量为  $1.27 \times 10^8 \text{m}^3$ ;  $(300 \sim 500) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 22 个,总地质储量为  $8\ 513.63 \times 10^4 \text{m}^3$ ;  $(100 \sim 300) \times 10^4 \text{m}^3$  级别的油气田有 38 个,总地质储量为  $8\ 795.41 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

上述待发现油气田的储量规模分布主要同黄河口凹陷的勘探程度及对油气聚集规律的认识程度有关。按照多类型、多层系、多区带“油气复式聚集带”理论的分析,黄河口凹陷的勘探程度并不均衡。平面上,黄河口凹陷大多数探井分布在渤南凸起及倾末端和渤中 28~34 中央隆起带,对洼陷带、北部陡坡带、南部缓坡带及东西两个断阶带的勘探程度相

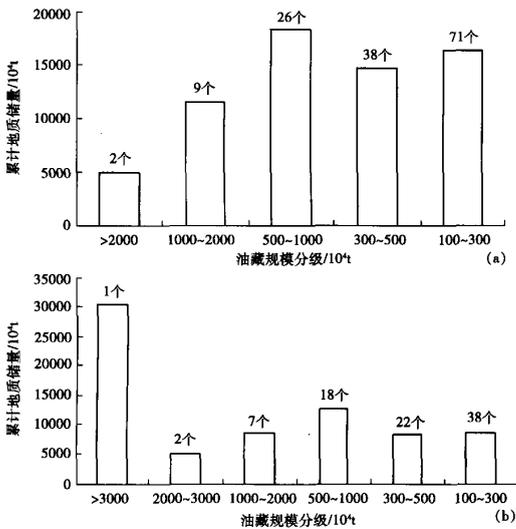


图 5 黄河口凹陷待发现油气田储量规模分布

(a)——假设渤中 25-1 南为最大规模油田;

(b)——假设渤中 25-1 南为次最大规模油田

对较低,而这些地区往往是地层、岩性和构造类油气藏的有利分布区。纵向上,黄河口凹陷的探井深度多小于 3 000 m,主要勘探层系为新近系明化镇组地层,埋深大于 3 000 m 的地层相对处于低勘探程度阶段。油田规模序列法对黄河口凹陷剩余资源量的评价结果进一步表明,上述空白区的勘探工作大有可为,必将成为今后黄河口凹陷增储上产的主要区域。

### 3 油气有利分布区预测

#### 3.1 预测原理和方法

从油田规模序列法的评价结果中我们可以看出,黄河口凹陷仍然具有很大的勘探潜力,那么这些剩余的油气资源到底分布在哪呢?前面已经提到,已发现油气平面上主要分布渤中 25-1 断隆带和渤中 28~34 中央隆起带,纵向上以浅层明下段为主。由此可以看出,不管是在平面上还是剖面上,黄河口凹陷都值得进一步挖潜。接下来从黄河口凹陷已发现油气的分布特征出发,综合考虑理论和实践两个因素,从而预测该区油气有利的分布区域,为下一步的勘探提供可靠的依据。

理论上,“源控论”<sup>[8,9]</sup>曾有效指导我国早期的油气勘探,其实质是强调烃源岩控制油气田的分布,现阶段它仍然是我们寻找油气的重要法宝。庞雄奇等在研究我国大、中型油气田成藏定量模式时,将定性研究与定量研究相结合,进一步深化发展了源控

论<sup>[9]</sup>。研究表明:不管是在个数上还是在储量上,我国 90% 以上的大中型油气田分布在离油源区中心 40 km 以内的范围<sup>[9~11]</sup>。而国外的研究结果表明:位于有效烃源岩边缘的圈闭由于具有较大的受油面积,存在油气汇流作用,捕集烃量最大。从勘探实践来看,油气分布往往显现出源控论和油气汇流聚集的规律:以东营凹陷为例,油气呈现以烃源岩为中心,由内向外的五环分布特征,从里到外,分别发育岩性油气藏、构造油气藏、构造-岩性油气藏、地层油气藏和浅层气藏。

#### 3.2 有利区预测

在“源控论”和“油气汇聚”等理论思想的指导下分析认为:与邻近的高成熟探区东营凹陷相比,黄河口凹陷与之大致属同一时期的陆相断陷盆地,具有相似的沉积演化特征。因此,它在很大程度上也应当具有类似的油气分布特征。在此考虑下,我们首先将黄河口凹陷划分为一系列的次级构造带,在充分考虑供烃个数,构造带与源岩的接触关系和油气运移距离等三个条件的基础上,对各成藏有利区进行了分级分带划分,结果见表 2。

从上表中可以看出,中央隆起带是黄河口凹陷最有利油气聚集的地区;其次是渤中 25-1 断隆带、渤中 33-1 断隆带、西部断阶带、西南缓坡带和西北陡坡带;再次之是东部陡坡带、东部断阶带和东南缓坡带;洼陷带由于埋藏较深,最不利于油气聚集。综合油气有利聚集级别和现今所处的勘探程度来看,建议下一步勘探应集中在以下几个区带展开:

(1) 渤中 28-34 中央隆起带:许多陆相断陷盆地的勘探经验表明,中央隆起带往往具有多个成藏有利条件,为复式油气聚集带。而到目前为止,黄河口凹陷在该地区已发现的油气主要分布在浅层明下段,因此,深层沙河街组具有很大的勘探潜力,油气藏类型以构造油气藏、岩性-构造油气藏和岩性油气藏为主。

(2) 南部缓坡带:前人曾针对该区 3 个构造实施了钻探,虽有发现但无商业价值。从 2007 年底开始,在辨证分析已钻井资料的基础上,通过整体研究,最后选择垦利 3-2 构造为突破点,一举获得了很大的发现,目前还处于评价阶段,但已明确显示了该区的勘探潜力,油气藏类型以构造油气藏和地层油气藏为主。接下来应以该构造的发现作为依托,进一步加强围区的勘探研究,争取开辟黄河口凹陷的另一个战场,与东北环遥相呼应。

(3) 西部断阶带:该区带目前属于黄河口凹陷的

表2 黄河口凹陷成藏有利区分级分带划分结果

构造单元	供烃个数	与源岩接触关系	离源岩中心距离/km	油气富集级别	勘探状态
渤中 28-34 中央隆起带	三源	长轴	6~20	I	√
渤中 25-1 断隆带	单源	长轴	5~16		√
渤中 33-1 次断隆	双源	短轴-长轴	10~15		√
西部断阶带	双源	长轴	15~20	II	×
西南缓坡带	单源	长轴	13~20		×
西北陡坡带 (渤南凸起西端)	单源	长轴	8~20		√
东北陡坡带 (渤南凸起东端)	单源	短轴	10~20	III	√
东部断阶带	单源	长轴	9~18		√
东南缓坡带	单源	短轴-长轴	14~20		×
西北次洼带	单源	中心	0~6	IV	
西南次洼带	单源	中心	0~5		×
东部次洼带	单源	中心	0~5		

备注: I 级为最有利;“√”表示已进行勘探;“×”表示未实施勘探(截止到 2007 年底)。

一个勘探空白带。但是我们应该清醒的看到,在凹陷西斜坡面积仅 1 000 km<sup>2</sup> 的滩海范围内,胜利油田已经发现了近 4.8×10<sup>8</sup> t 的石油地质储量。渤海海域范围内的黄河口凹陷西部断阶带处于油气运移的必经之地,更有利于油气成藏,因此,它给我们勘探西部断阶带奠定了足够的信心,油气藏类型以构造油气藏、岩性-构造油气藏和岩性油气藏为主。

## 4 结论

(1) 尽管黄河口凹陷历经多年的勘探,但因它是渤海湾盆地最主要的富烃凹陷之一,并且其不同构造单元、不同层系、不同深度和不同类型油气藏的勘探程度很不均衡,因此,它仍然具有很大的资源潜力。

(2) 根据油田规模序列法的评价结果,黄河口凹陷至少仍有 180×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> 储量以上的待发现油气田 88~146 个,剩余资源总量(6.57~7.43)×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。

(3) 黄河口凹陷待发现油气田的规模不仅局限于几百万方级储量及以下的小规模油气田,而且仍有千万方级及以上储量规模的油气田有待发现。2007 年 7 月在渤中 26-3 构造浅层发现了较大规模的岩性油藏,进一步展示了该凹陷不同类型油气藏良好的勘探前景。

(4) 从成藏有利分布区来看:中央隆起带是黄河口凹陷最有利于油气聚集的地区;其次是渤中 25-1 断隆带、渤中 33-1 断隆带、西部断阶带、西南缓坡带和西北陡坡带;再次之是东部陡坡带、东部断阶带和东南缓坡带;洼陷带不太利于油气聚集。

## 参考文献

- 赖斯. 油气资源评价方法与应用[M]. 翟光明译. 北京:石油工业出版社,1992. 1~30
- 金之钧,张金川. 油气资源评价方法的基本原则[J]. 石油学报, 2002, 23(1):19~23
- Meneley R A, Calverley A E, Logan K G, et al. Resource assessment methodologies: current status and future direction[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(4):535~540
- 周总瑛,唐跃刚. 我国油气资源评价的现状与存在问题[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5):554~556
- 吕延防,丛金山,张绍臣. 齐家-泰康地区油气田规模及分布预测[J]. 勘探家, 1998, 3(3):31~36
- 罗佳强. 齐波夫定律在济阳凹陷最终探明储量预测中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(3):318~320
- Mandelbrot, Benoit B. The statistics of natural resources and the law of pareto[C]. Fractals in Petroleum Geology and Earth Processes. New York: Plenum Press, 1995:1~12
- 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):24~27
- 庞雄奇. 地质过程定量模拟[M]. 北京:石油工业出版社, 2003. 288~291
- 唐文旭,胡涛,曹卫生. 沔阳凹陷油气成藏主控因素分析[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(6):15~17
- 程学峰,曾小阳,吕金博等. 泌阳凹陷深层系油气成藏条件及勘探方向分析[J]. 石油地质与工程, 2006, 20(6):1~3