

成熟探区主力含油层系储量空白区 勘探目标优选方法 ——以渤南洼陷南斜坡沙三段为例

向立宏

(中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院,山东 东营 257015)

摘要: 济阳坳陷已进入勘探成熟甚至高成熟阶段,针对成熟探区主力含油层系储量空白区勘探日益增加的难题,以渤南洼陷南斜坡沙三段为例,建立一套适合于成熟探区主力含油层系储量空白区勘探目标优选方法,并将其定义为“七步走”评价方法。该方法在运用地质帕莱托概率模型预测空白区剩余资源潜力前提下,以油气藏分布有序性理论为指导,确定南斜坡以岩性-构造油藏为主要勘探目标。并在构造、物源、沉积、储层精细解剖基础上,建立渤南洼陷南斜坡沙三段空白区多源多扇多期叠加的精细地质模型。同时开展成熟探区“9图1表”成藏条件统计分析,认为研究区沙三段油气成藏模式具有随砂迁移、逐层分布、断层封堵、优相富集的特点。通过成功与失利探井正反对比,明确储层不发育、断层不封堵、含油高度预测不准3大失利原因是导致储量难以上报的因素,并开展针对性攻关,建立空白区储层精细建模、断层封堵评价、圈闭含油高度预测的关键技术。通过成藏要素的定量刻画,优选有利圈闭,并针对重点目标开展勘探部署,取得良好勘探效果。

关键词: 成熟探区;勘探目标优选方法;地质帕莱托概率模型;油藏分布序列;圈闭定量评价;济阳坳陷

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Method for exploration target optimization in blank region of main oil-bearing beds in mature exploration area—A case study of Es₃ Member in south slope, Bonan Subsag

XIANG Lihong

(Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company,
SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: The exploration of Jiyang Depression has reached in mature or over-mature stage. In view of the increasing of reserve blank area of main oil-bearing beds in mature exploration area, a method, which is suitable for optimizing petroleum exploration target in the main oil-bearing beds of mature exploration area, is established focusing on the Es₃ Member in south slope, Bonan Subsag being defined as “seven-step processes”. This method is used to predict the potential of remaining resources in the blank area under the guidance of the “Pareto Geological Probability Model”, and the lithologic structural reservoir is determined as the main exploration target in the south slope according to “Oil and Gas Reservoirs Orderly Distribution” theory. On the basis of fine dissection on “structure, provenance, sedimentation and reservoir”, a fine geological model with multi-source, multi-fan and multi-stage superimposition in blank area is established for the Es₃ Member in the south slope, Bonan Subsag. The statistical analysis of reservoir-forming conditions in “9 pictures and 1 table” of mature exploration area is carried out at the same time. The reservoir-forming characteristics of the Es₃ Member in the south slope, Bonan Subsag are sorted out, including migration with sand, layer-by-layer distribution, fault sealing, and enrichment with excellent facies. Through comparison of the “positive-negative ratio” between successful and unsuccessful exploration

wells, the three major failure reasons for undeterminable reserves are undeveloped reservoir, unsealed fault, and inaccurate oil height. Targeted research is carried out to establish the key technologies in reserve blank area, including the fine reservoir modeling, fault sealing evaluation and prediction of trap oil-bearing height. Through quantitative characterization of reservoir-forming factors, favorable traps are optimized, and exploration deployment is carried out for key targets, and good exploration results are achieved.

Key words: mature exploration area; method for exploration target optimization; Pareto Geological Probability Model; reservoir distribution sequence; quantitative evaluation of traps; Jiyang Depression

成熟探区储量空白区是指探明储量区域中间空白区域,由于油气成藏富集规律复杂或缺乏配套勘探技术而导致认识程度较低而未探明的区域。与探明区相比,储量空白区成藏条件更加复杂、勘探难度大,精细勘探及配套技术的完善是解放储量空白区的有效途径和手段。对于成熟探区储量空白区的勘探,胜利探区已建立一系列有效的勘探方法和思路。宋明水等提出通过精细划分层勘探单元来提高成熟探区勘探精细程度,使济阳坳陷高效勘探更加精细化和立体化^[1];曹忠祥等提出通过对勘探老区资源现状的客观分析、地震资料品质的改进,创新勘探思维引领老区新突破^[2]。王永诗等在胜利油区东部探区“十二五”中后期勘探形势与对策中指出成熟探区主力含油层系储量空白区将是今后重要的勘探方向,并指出以高精度层序格架为单元,精细解剖并总结已发现的油气分布特征,开展储量区与空白区成藏差异分析^[3]。宋国奇从哲学的角度探讨了如何开展成熟探区地质综合研究和目标评价^[4]。储量空白区值不值得勘探?如何评价空白区的勘探潜力?如何确定油藏类型及其分布?如何开展精细勘探?还需进一步形成具体操作流程和方法,为此,以渤南洼陷南斜坡沙三段为例,建立一套适合于成熟探区主力含油层系储量空白区勘探目标优选方法,以期能为勘探部署提供理论基础。

1 区域地质概况

渤南洼陷为沾化凹陷次级构造单元,东邻孤岛凸起,西接罗家鼻状构造,南部越过垦西地垒与三合村洼陷相接,为中高勘探程度区。渤南油田以沙三段(E_{s3})储层为主力储集体,勘探难度大,已累积上报石油地质探明含油面积为 89.8 km^2 ,石油地质探明储量为 $1.29\times 10^8\text{ t}$,沾化凹陷古近系石油地质探明储量为 $2.3\times 10^8\text{ t}$,渤南洼陷 E_{s3} 占比为55.7%,从洼陷边缘到洼陷中心均有油气藏分布。其中浊积岩上报石油地质探明储量达 $3\ 500\times 10^4\text{ t}$,每年储量发现均约为 $200\times 10^4\text{ t/a}$,深洼带基本实现满洼含油。

储量区以外仍存在大片空白区,但空白区内油气显示丰富(图1)。统计发现,43口井录井见油气显示,4口井获工业油流,3口井获低产油流,说明空白区仍具有较大的勘探潜力。为此,以渤南洼陷南斜坡为例,提出通过建立储量空白区“七步走”研究思路来指导勘探部署,以期实现储量空白区含油连片,并进一步总结出一套适合于断陷盆地成熟探区精细勘探的工作思路和方法。

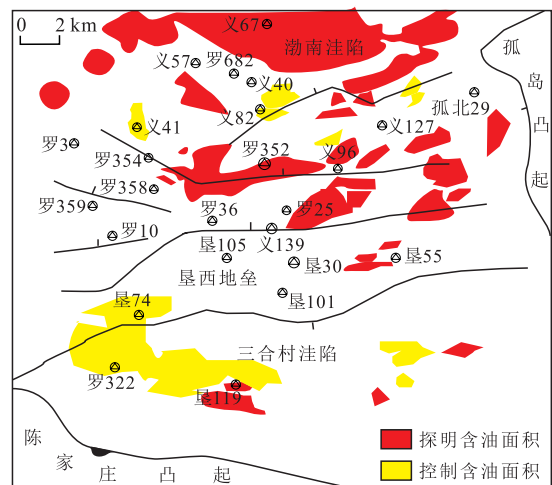


图1 渤南洼陷南斜坡沙三段储量上报情况

Fig.1 Defined reserves distribution of E_{s3} Member in south slope, Bonan Subbasin

2 勘探目标优选方法

“七步走”的勘探目标优选方法是在济阳坳陷大量的勘探实践中总结形成的关于储量空白区的勘探方法,该方法在运用数学地质方法预测空白区剩余资源潜力的前提下,以油气藏分布有序性理论为指导,确定空白区可能存在的油藏类型及攻关方向。精细解剖分析钻井、录井、测井、试油和测试等原始地质资料,研究储量区油藏成藏主控因素,建立研究区精细地质模型与成藏模式,并在此模式指导下,结合储量空白区失利井剖析,明确储量区与空白区成藏要素与油气分布及成藏机制差异性,确定空白区形成的主要原因。针对制约空白区勘探的关键问题,重点开展精细地质建模、圈闭有效性评

价及精细地球物理预测,形成适合储量空白区精细勘探的技术系列及精细勘探流程,并优选典型储量空白区进行勘探实践,以期实现含油连片,形成储量空白区勘探部署思路和规范,总结勘探实践经验。

2.1 资源潜力再评价,预测剩余资源潜力

成熟探区的储量空白区有多大的资源潜力,是否值得勘探是亟需研究的问题。对于资源评价,中外建立了很多方法^[5-9],地质帕莱托概率模型是目前资源评价中较为先进且常用的一种方法。世界各油田的勘探实践证明,某个勘探区带所有油气藏的分规模通常服从帕莱托概率模型。金之钧等就此进行了大量的统计分析^[10],并以广义帕莱托概率分布数学模型为基础,推导了基于油藏规模限定条件下的地质帕莱托(Geological Pareto, GP)累积分布函数和密度分布函数,其表达式分别为:

$$F(q) = 1 - \left(\frac{q}{q + \gamma}\right)^\lambda + \left(\frac{q_0 + \gamma}{q + \gamma}\right)^\lambda \quad (1)$$

$$f(q) = \frac{\lambda(q_0 + \gamma)^\lambda}{(q + \gamma)^{\lambda+1}} + \frac{1}{q_{\max} - q_0} \left(\frac{q_0 + \gamma}{q_{\max} + \gamma}\right)^\lambda \quad (2)$$

在给定现有资源量的情况下,利用该模型可以预测不同规模区间待发现的油气藏的个数和资源量。利用地质帕莱托概率模型(图2)对渤南洼陷南斜坡 Es₃ 储量空白区的资源量进行预测,首先将 Es₃ 划分为4个储量规模区间(表1),其中最小和最大储量规模区间为该区目前发现的最小和最大储量里的油藏规模;γ和λ利用最优化搜索的方法求取。在求取的过程中,若参数不合理,则要重新求取,直至合理为止。从预测结果(表1)来看,渤南洼陷南斜坡 Es₃ 在不同的储量规模区间均存在待发现的油藏,4个储量规模区间累积为44个,待发现储量累积达2 437.4×10⁴ t,说明该区具有良好的勘探前景。

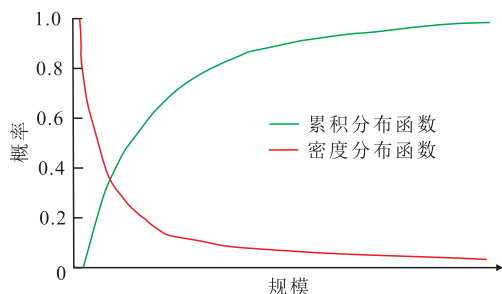


图2 地质帕莱托概率模型
Fig.2 Pareto Geological Probability Model

2.2 以油藏分布有序性理论为指导,确定油藏攻关方向

油藏分布有序性是指断陷盆地形成发展过程中,盆地内部构造单元、沉积体系、压力场分布、油

表1 渤南洼陷南斜坡 Es₃ 不同储量规模区间资源评价结果
Table1 Evaluation results of resources in different scale interval of Es₃ Member in south slope, Bonan Subsag

储量规模区间 (10 ⁴ t)	现有油藏数 量(个)	现有储量 (10 ⁴ t)	待发现油藏数 量(个)	待发现储量 (10 ⁴ t)	总油藏数 量(个)	总储量 (10 ⁴ t)
0~10	5	32.3	2	17.5	7	49.8
10~50	20	560.9	21	533.9	41	1 094.8
50~100	8	566.3	12	821.6	20	1 387.9
100~500	11	2 350	8	1 064.4	19	3 414.4
合计	44	3 509.5	43	2 437.4	87	5 946.9

藏类型、生储盖配置关系、输导体系组合样式等方面均具有显著规律性。郝雪峰等通过对济阳拗陷新生界大量成藏要素的解剖,发现地层压力场、输导体系及主要油藏类型等均呈有序性变化^[11-13]。不同类型的油藏其成藏要素、勘探的攻关方向均有所侧重。通过成熟探区油藏分布有序性研究可以实现对空白区油藏类型、油藏分布主控因素、攻关方向的预判。

渤南洼陷受盆地构造、沉积充填有序性的控制,无论是油藏类型,还是压力系统、运聚方式、成藏主控因素均呈有序变化(图3)。整体来看,从北部陡坡带砂砾岩—中部洼陷带浊积砂体—南部斜坡带三角洲—凸起带扇三角洲,依次发育构造油藏—构造—岩性油藏—岩性—构造油藏—构造油藏—地层油藏。Es₃ 地层压力也呈有规律变化^[14],总体上自盆地中心至盆地边缘,呈异常高压—过渡压力—正常压力的有序分布,圈闭的含油高度从大到小有序变化。

从目前勘探现状来看,渤南洼陷岩性油藏勘探程度较好,基本实现了满洼含油。按照油藏分布有序性理论,在已发现的岩性油藏上倾方向的南部斜坡带发育以构造—岩性、岩性—构造及构造油藏为主(图3),重点攻关方向为储层预测、断层封堵性、圈闭有效性、圈闭含油性的研究。储层预测问题的攻关首先要从沉积体系上重新认识 Es₃ 各砂组的物源组成及方向、沉积相类型、砂体分布等;断层封堵问题则要考虑断层结构、断层性质、断层两盘岩性对接情况、断裂带泥岩涂抹情况等;圈闭有效性问题则要考虑圈闭的闭合高度、封盖层的封盖能力等;圈闭含油性问题则要考虑油气充注动力与阻力耦合问题。以油藏分布有序性理论指导,重新认识空白区的油藏类型,从而确定其勘探攻关方向。

2.3 研究再深入,建立精细地质模型

地质精细建模是研究空白区成因的前提条件,也是实现精细勘探的必要手段。对于渤南洼陷南

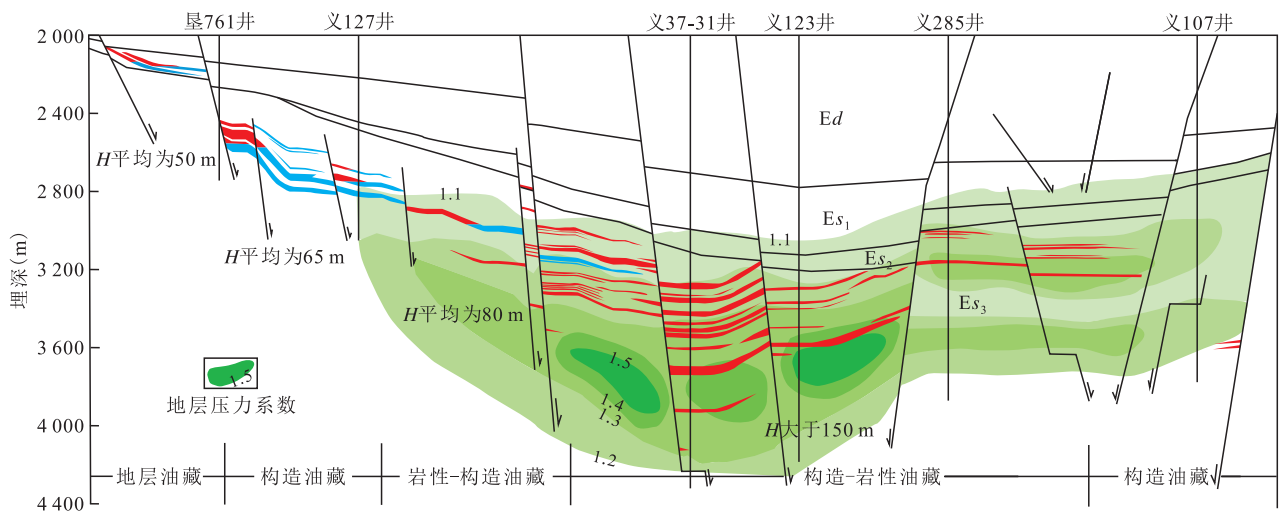


图3 渤南洼陷Es₃油藏分布序列

Fig.3 Reservoir distribution sequence of Es₃ Member in Bonan Subbasin

斜坡Es₃储量空白区最重要的精细地质建模就是对其沉积体系的再认识。包括物源方向、沉积类型和砂体展布等。综合运用各项基础资料,通过精细等时地层格架的建立,古地貌、古物源及沉积体系的研究及砂组细分,编制各类基础图件,重新认识砂体成因及分布规律。

渤南洼陷南斜坡Es₃自下而上分为Es₃^下, Es₃^中, Es₃^上 3个三级层系,自上而下共划分为0—13共14个砂组,分属于3个三级层序,各砂组砂体分布零散,物源方向、沉积类型一直认识不清,甚至有的砂组之间出现穿时现象。例如前人认为9砂组为物源来自孤岛凸起的重力流沉积,为Es₃^下近岸水下扇向北进积而成^[15-16]。经精细地层对比及岩屑分析认为,9砂组物源应来自南部陈家庄凸起,为Es₃^中低位深水浊积扇,沿垦66井—垦55井—义67井一线向北进积而成。岩性由靠近物源区的砂砾岩向北渐变为含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩;从电性特征来看,自然电位具明显下切水道的箱状特征;从岩屑类型来看,9砂组以变质岩为主,与南部陈家庄凸起出露的太古界基底地层具有相似性,而孤岛凸起出露的基底地层以中生界为主,岩屑以岩浆岩为主,并未能成为9砂组提供主要物源。

精细对比分析认为,10—13砂组岩屑类型以变质岩和岩浆岩为主,物源来自南部的陈家庄凸起及东部的孤岛凸起,以扇三角洲沉积为主;6—8砂组岩屑类型以岩浆岩居多,变质岩、沉积岩次之,物源主要来自东部远源的垦东-青坨子凸起,为远源三角洲沉积。0—5砂组岩屑类型以岩浆岩为主,为近源的孤岛凸起的近岸水下扇及滑塌浊积砂体。综合分析认为,Es₃沉积时期主要发育来自南部陈家庄

凸起、东部孤岛凸起和远源垦东-青坨子凸起等多套物源供给的不同类型沉积砂体(图4)。沉积体系为多源多扇叠合沉积的地质模型,值得一提的是从现今的构造形态来看,垦西地垒将渤南洼陷南斜坡与三合村洼陷分隔,陈家庄凸起物源难以越过垦西地垒向北进积。但垦西断层的活动性分析结果表明,Es₃沉积时期垦西断层生长指数小于1.2,而Es₁沉积时期生长指数达1.8,说明现今隔洼相望的构造格局可能是Es₃沉积后形成。Es₃沉积时期垦西地垒带的断层活动性较弱,三合村洼陷与渤南洼陷南斜坡地形起伏相对较小,且为连通水体环境,陈家庄凸起的物源可越过垦西地垒向北进积,后期由于垦西地垒抬升,砂体遭受剥蚀。

通过以上渤南洼陷南斜坡Es₃物源方向、沉积类型、砂体展布等精细地质模型的建立,重新认识砂体成因及分布规律。完成不同砂组分布模型,实现了该区储层分布的精细预测,提供了可靠的地质依据。

2.4 油藏细剖析,明确成藏富集要素

在成藏理论的指导下,对各层系的含油气情况与成藏要素进行统计分析,剖析探明储量区油气成藏特征,明确构造位置、沉积体系、储层展布、物性特征、压力场和含油性等静态特征,分析油气分布规律,明确成熟探区油气分布规律及成藏机理,建立相应的成藏模式。其中9图1表是开展精细研究的基础图件和统计大表,9图主要指9种类型的图件,包括主力含油砂组顶面大比例尺(比例尺为1:10 000)构造图和以此为底图的油层平面分布图、含油层段沉积微相大比例尺平面图和以此为底图的油层平面分布图、含油层段储层物性大比例尺平面

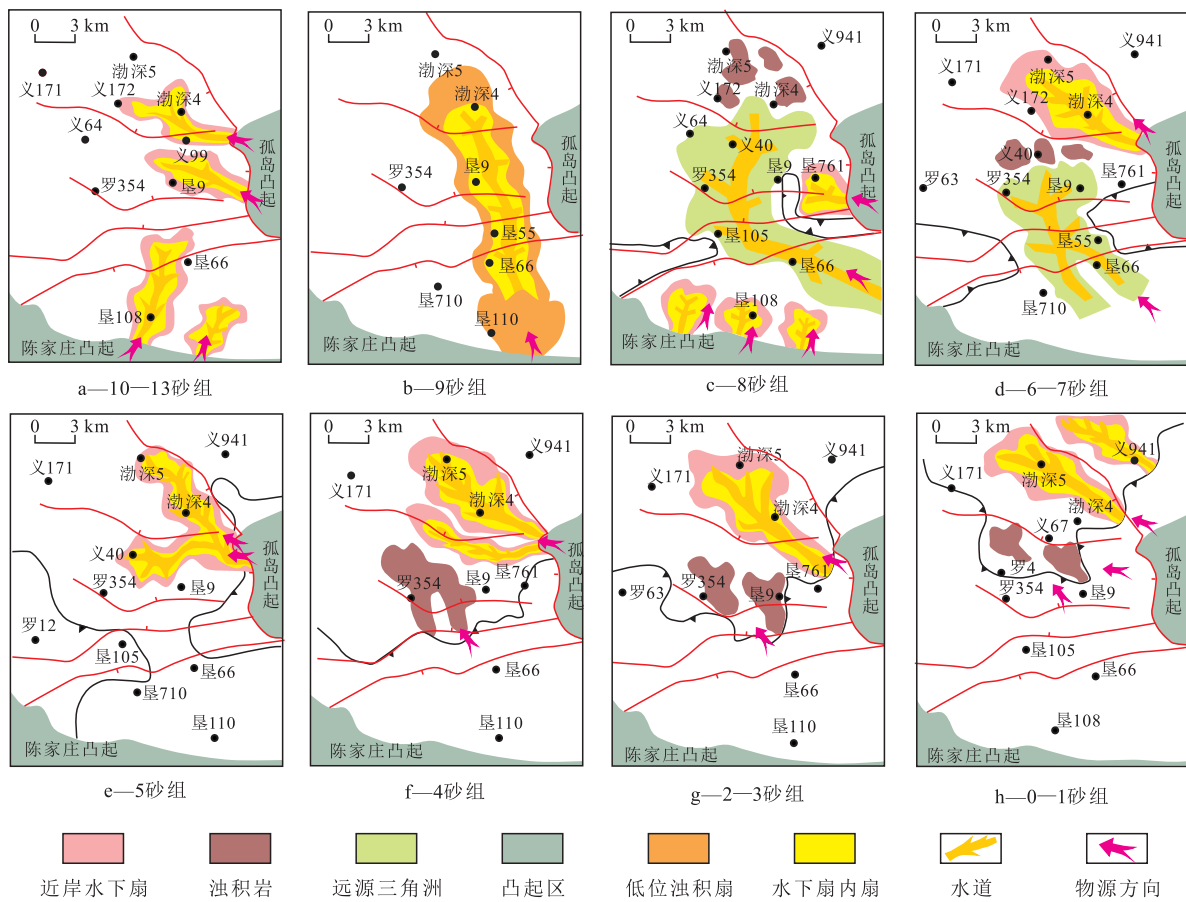


图4 渤南洼陷Es₃各砂组沉积相展布

Fig.4 Sedimentary facies of each group of Es₃ Member in Bonan Subgass

分布图和以此为底图的油层平面分布图、含油层段压力大比例尺平面分布图和以此为底图的油层平面分布图、不同方向的油藏剖面图。将已发现油藏分别与构造图、沉积体系展布、储层展布、物性特征分布、压力场分布等图叠合,明确油气成藏的主控因素。1表为油气成藏要素解剖统计大表,该表包含不同砂组圈闭类型、油气显示情况、测试情况、储盖组合、砂地比、储层物性、圈闭含油性、断层封堵性评价等(表2)。剖析9图1表,认为渤南洼陷南斜

坡Es₃各砂组由于受多物源体系的控制,后期由于盆地的抬升剥蚀,砂体规模差别较大,导致各砂组已发现的储量规模相差较大。其中9,8和6+7砂组是渤南洼陷油气富集程度最高的层段。1—5砂组储量较小。油气成藏受砂体和断层的控制。油藏分布具有随砂迁移,油水界面变化快的特点。断层封闭性评价指数(SGR)一般大于0.5,砂体明显受断层控制,在下降盘砂体发育层数较多,厚度较大,物性较好,孔隙度平均为22%。断层附近常形成切香肠

表2 渤南洼陷南斜坡Es₃部分砂组成藏要素解剖结果

Table2 Main reservoir-forming factors of some groups of Es₃ Member in south slope, Bonan Subgass

储量区块	砂组	埋深(m)	试油结果	砂地比(%)	储层厚度(m)	孔隙度(%)	油藏压力系数	断距(m)	SGR	储量(10 ⁴ t)	含油高度(m)
垦26	8	2 522~2 534	含油水层	30	40	23	1.05	100	0.6	16	20
罗352	8	2 560~2 645	油层	33	27.8	21.9	1.15	56	0.7	201	42
义112	8	2 250~2 305	油层	6	3.5	19.2	1	220	0.8	369	30
垦623	8	2 240~2 248	油层	58	20.7	25	1.03	112	0.5	115	50
垦622	8	2 060~2 090	油层	76	22.9	26	1	105	0.65	171	56
罗35-1	8	2 674~2 679	油层	40	50	24	1.05	50	0.55	199	45
义55	9	3 115~3 205	油水同层	44	40	17	1.01	30	0.45	81	20
义901	9	2 900~2 950	油层	42	21	17.7	1.2	74	0.5	77.29	50
垦761	10—13	2 480~2 494	油层	51	20.5	23	1.02	200	0.8	215.13	45

式的断阶式油藏,油藏压力系数一般为1.0~1.2,为常压-过渡压力系统,含油高度一般为20~50 m。整体上,研究区Es₃油气成藏模式具有随砂迁移、逐层分布、断层封堵、优相富集的特点。

2.5 失利井分析,厘定储量空白原因

在该区成藏模式指导下,系统开展成功探井与失利井的成藏要素对比,精细剖析空白区失利井的原因,有的放矢采取相应的对策,挖掘空白区资源

潜力。分析形成储量空白区的主要原因是成藏解剖不够精细、成藏条件不利、储层条件差、断层不封堵、油气输导条件不利、油气充注动力不足、构造位置低、未钻探到含油范围之内等,这些均有可能成为制约储量空白区勘探的关键因素。从表3中可以看出,储层不发育、储层物性差、构造位置低是导致储量空白区的主要成因。

罗35井南部发育一条北东向断层,该断层由于

表3 渤南洼陷南斜坡Es₃部分砂组失利结果分析
Table3 Analysis of failure drilled wells in partial groups of Es₃ Member in south slope, Bonan Subsag

储量区块	砂组	埋深(m)	录井显示	综合解释结果	失利原因	砂地比(%)	储层厚度(m)	孔隙度(%)	SGR
义100	8	2 786~2 909	油迹	含油水层	构造位置低	25	30.8	23.6	0.7
义140	8	2 680~2 770	荧光	无	储层物性差	24.9	22.4	17.9	
垦9	8	2 545~2 630	无	无	储层不发育	4.1	3.5		
罗357	8	2 570~2 689	荧光	含油水层	构造位置低	41.5	49.4	22.2	0.8
垦26	8	2 590~2 634	无	无	储层不发育	3.5	2.5		
罗35南	8	2 675~2 680	无	水层	断层不封堵	30	5	21	0.3
罗358	8	2 410~2 482	无	水层	构造位置低	27.2	19.6	18.2	0.6
垦51	8	2 080~2 100	无	无	储层不发育	0	0		
罗354	6—7	2 585~2 601	油迹	无	构造位置低	30	23	20	0.7
义126	6—7	2 480~2 500	无	无	断层不封堵	30	22	22	0.2

不同断点处封堵性不同,造成各砂组的含油性不同。2 675~2 680 m断点处,断层上盘控制6—7砂组(图5),孔隙度为20%,孔渗性较好,其上倾方向与断层相接,断点处SGR值较低,约为0.3,断层不封堵,因此造成该断点处没有成藏,试油为水层。2 697~2 720 m断点处,断层上盘控制8砂组,下盘与泥岩对接,计算断点处SGR值为0.8,断层具有一定的封堵性,综合解释为油水同层,试油为油层,日产油量为3.57 t/d,累积产油量为75.4 t。不同类型圈闭,其失利的主控因素有所差别,在分析储量空白区失利原因时要有所侧重。

关键因素,在已有勘探技术适应性分析基础上,开展针对性技术攻关,形成相适应的精细勘探配套评价技术,以指导空白区的勘探。

针对断层封堵性评价问题,综合考虑断层上、下盘泥岩含量对断层封堵性的影响,提出用断层泥总量因子表征断层上、下盘泥岩涂抹连续程度,以此分析断层封堵性,其计算公式为:

$$TGF = \frac{F_{上} + F_{下}}{D} \quad (3)$$

针对储量空白区构造位置低,没有钻探到含油高度范围之内而失利的井,需要针对性的建立圈闭含油高度的评价方法。将研究区已发现油藏的含油高度与成藏要素叠合分析后,发现砂体倾角、圈闭闭合高度、物性指数和断层泥总量因子4个参数与含油高度相关性较好(图6),其中砂体倾角与含油高度具有倾角越大、油气充注浮力越大,越利于油气运聚的特点(图6a)。圈闭闭合高度对含油性的影响体现在圈闭本身容积量对含油性的控制(图6b)。储层物性对含油性的控制体现在油气在浮力作用下只有突破储层物性下限才能进入圈闭成藏。油气一旦突破物性下限进入储层后,含油高度往往与砂体物性指数具有较好的相关性,统计分析渤南洼陷Es₃已成藏圈闭含油高度与物性指数的相关性,

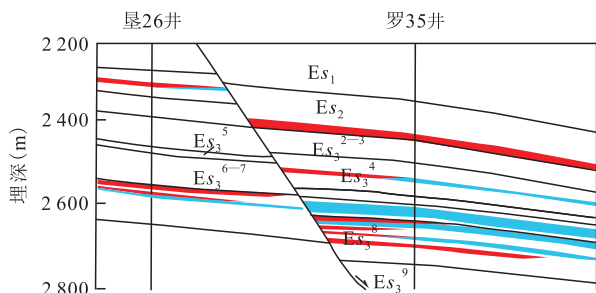


图5 渤南洼陷南斜坡垦26—罗35井油藏剖面
Fig.5 Cross-sections of Well Ken26 and Luo35 in south slope, Bonan Subsag

2.6 开展针对性攻关,完善关键勘探技术

分析储量空白区成藏条件,落实制约其勘探的

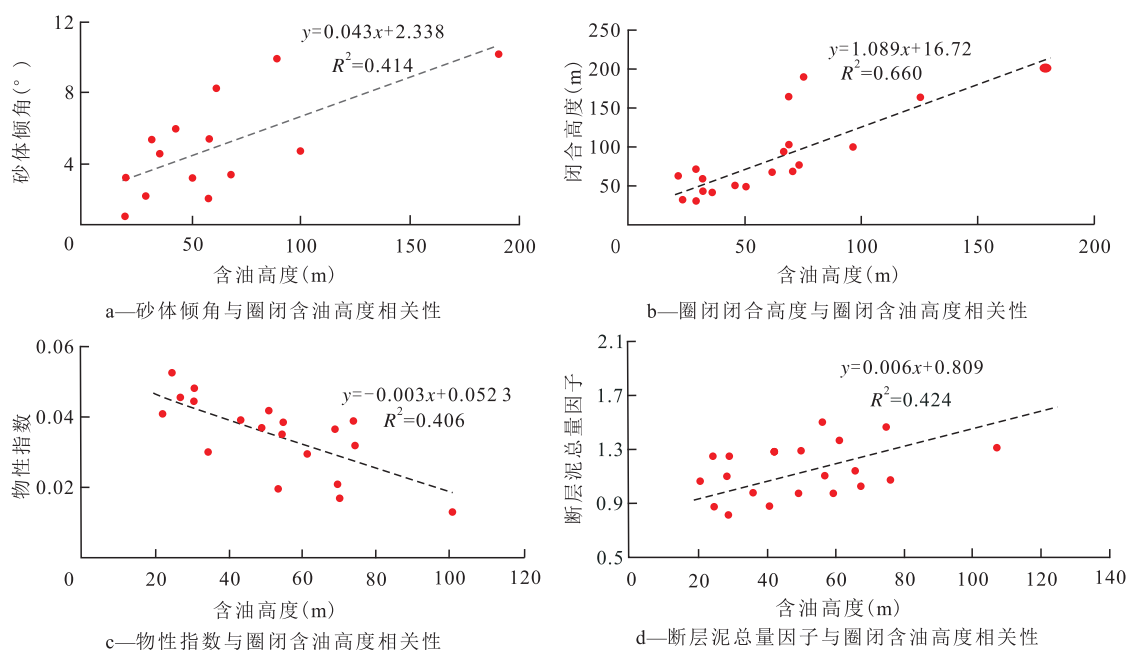


图6 断块圈闭含油高度与主控因素相关性分析

Fig.6 Correlation analysis between trap oil-bearing height and main controlling factors

发现两者具有明显的负相关性(图6c)。物性指数越大,圈闭含油性越差;反之,含油性越好。断层封闭性对含油性影响表现为断层两盘泥质含量越高,断层所能封堵的油柱高度越大,通过该区30个含油区块控藏断层的断层泥总量因子与含油高度统计结果来看,两者呈正相关性(图6d)。

研究区圈闭含油性主要取决于油藏闭合高度、砂体物性指数、砂体倾角和断层泥总量因子。每一种因素影响都不是绝对的,而是相对的,将影响圈闭含油性的4个因素进行多元回归分析^[17],建立断块型油藏含油高度的预测模型,其表达式为:

$$H = 0.293h + 753.113w + 1.25\theta + 29.841TGF + 17.715 \quad (4)$$

为了验证模型的可靠性,对渤南洼陷南部斜坡带的2个没有参与回归的油藏含油高度进行了计算检验,结果表明,两个油藏含油高度的计算值与实际误差均小于10%(表4),表明该模型可靠性较高,可实现对断层封堵型油藏含油高度进行钻前定量预测,从而提高勘探成功率。

表4 断层封堵型油藏含油高度计算值与实际值比较
Table4 Comparison of calculation value and actual value of oil-bearing height in fault-sealed reservoir

井号	砂组	含油高度主控因素				含油高度(m)		误差 (%)
		闭合高度(m)	物性指数	砂体倾角(°)	断层泥总量因子	实际	计算	
义901	9	75	0.0313	10	1.41892	75	70.956	5.4
垦斜626	6	70	0.01904	3.3	1.52174	70	73.418	4.9

2.7 圈闭再评价,优选有利勘探目标

通过影响不同圈闭成藏关键因素及相关基础图件的分析可以找到并圈定有利圈闭^[18],再结合圈闭产油物性下限及产油能力等指标进行定量评价,最终确定有效圈闭。

2.7.1 圈闭产油物性下限的确定

研究区Es₃储层物性较好,属中孔中渗透储层,孔隙度一般为15%~25%,渗透率一般为10~1000 mD。油藏主要分布在物性较好的砂体的中心部位。从录井显示来看,油层井和油水同层井岩心含油级别一般为油斑、油浸、饱含油。含水层、水层的岩心含油级别一般为油斑以下的油迹、荧光,以油斑为界来划分有效及无效含油级别,通过绘制有效含油级别及无效含油级别孔隙度和渗透率的正、逆累积频率曲线来确定含油物性下限。从图7可看出,研究区Es₃孔隙度下限为14%,渗透率下限为3 mD。

2.7.2 圈闭产油能力的确定

圈闭产油能力可以反映当孔隙中同时存在油、水两相时产能大小,其表达式为:

$$h_{50} = \frac{100 \times Pc_{50}}{\Delta\rho} \quad (5)$$

当h₅₀大于实际油藏的闭合高度时,只出水,不出油;当h₅₀等于实际油藏的闭合高度时,油水同产,水多油少;当h₅₀小于实际油藏的闭合高度时,有较大的石油生产能力;当h₅₀远小于实际油藏的闭合高度时,纯油生产能力很大。

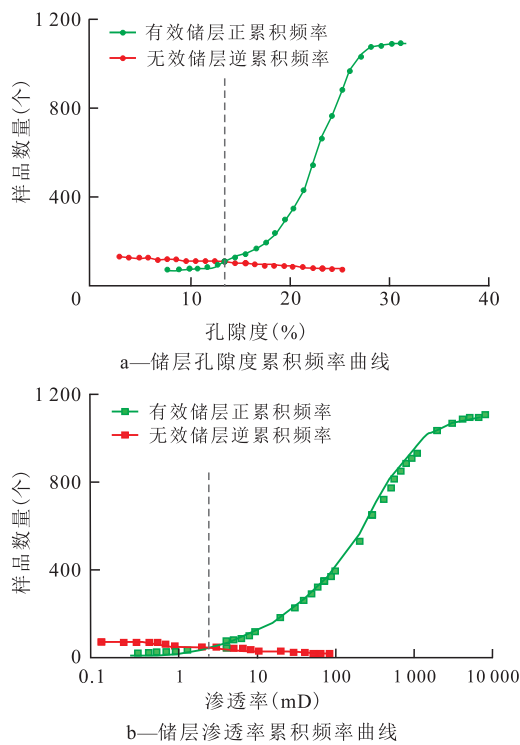


图7 渤南洼陷南斜坡沙三段储层孔隙度与渗透率正逆累积频率统计

Fig.7 Positive and negative cumulative frequency statistics of porosity and permeability of Es₃ Member in south slope, Bonan Subsag

3 勘探效果

2014年以来,针对渤南洼陷南斜坡罗354、义142、义96、义136等多个构造类型的区块在细分层系和成藏解剖的基础之上,运用储量空白区精细评价“七步走”的工作思路,纵向细化评价单元,圈闭逐个精细刻画,聚焦成藏关键要素,叠合评价有利目标,上报石油地质控制储量达358.66×10⁴ t。同时以“七步走”为指导,在斜坡带以南的三合村洼陷南斜坡空白区发现地层油藏。三合村地区位于沾化凹陷东部,孤南断裂带西段下降盘,是孤南洼陷向西延伸的小次洼,其北接渤南洼陷南斜坡,南邻陈家庄凸起东段北翼,东为孤南洼陷。以油气成藏有序性理论为指导,认为三合村地区靠近陈家庄凸起,有形成地层油藏的条件,Es₃下沉积大套砂砾岩体,超覆于前古近系致密地层之上,形成地层圈闭条件有利。通过对其空白区失利井原因分析认为,制约勘探的关键是油气来源、油气运移条件不清。通过对三合村洼陷精细的地化分析、成藏期次及古构造演化分析认为,油气成藏以早期成藏为主,即东营末期。恢复了东营末期三合村洼陷古近系底面构造特之后,认为该时期罗家鼻状构造与三合村

洼陷南斜坡属于同一构造,孤南断层西支断距较小,不足以断开近百米厚的砂砾岩体,来自渤南洼陷沙四段的油气可以从罗家鼻状构造带向三合村洼陷自西向东运聚成藏。据此运用储量空白区精细评价“七步走”的工作思路,通过成藏关键要素的叠合分析,精细评价有利目标,发现了罗322、垦119等地层油藏,上报石油地质控制储量达2 622.71×10⁴ t,使成熟探区空白区中寻找储量成为可能。

4 结论

从渤南洼陷南斜坡Es₃储量空白区勘探实践出发,建立了成熟探区储量空白区“七步走”的勘探目标优选方法。即资源潜力再评价以预测剩余资源潜力;油藏分布有序性理论为指导以确定油藏攻关方向;研究再深入以建立精细地质模型;油藏细剖析以明确成藏富集要素;失利井分析以厘定储量空白区;针对性攻关以完善关键勘探技术;圈闭再评价以预测有利勘探目标。

断陷盆地主力含油层系内的储量空白区仍然是未来较长一段时期的重要增储领域,在新的勘探形势下,通过解放思想,适时调整勘探思路,积极探索实践,以储量空白区“七步走”的精细勘探方法,能够有效地指导成熟探区主力含油层系储量空白区的勘探。该方法不仅为胜利探区“十三五”勘探提供了支持,同时对中国东部其他陆相断陷盆地高勘探程度区的勘探部署具有一定的借鉴意义。

符号解释

$F(q)$ ——油藏规模累积分布函数; q ——可能的油藏规模,10⁴ t; q_0, q_{max} ——分别为最小和最大油藏规模,10⁴ t; γ ——油藏位置分布参数; λ ——油藏规模形态分布参数; $f(q)$ ——油藏规模密度分布函数; H ——油藏含油高度,m; TGF ——断层泥总量因子; $F_{上}$ ——断层垂直断距范围内断层上盘所有泥岩厚度,m; $F_{下}$ ——断层垂直断距范围内断层下盘所有泥岩厚度,m; D ——断层垂直断距,m; h ——圈闭闭合高度,m; w ——砂体物性指数; θ ——砂体倾角,(°); h_{50} ——油层条件下圈闭含油饱和度中值对应的岩层生产石油所需要的闭合高度,m; P_{c50} ——圈闭的饱和度中值压力,MPa; $\Delta\rho$ ——油水密度差,g/cm³。

参考文献

[1] 宋明水,王永诗,李友强.成熟探区“层勘探单元”划分与高效勘探[J].石油勘探与开发,2018,45(3):520-527.
SONG Mingshui, WANG Yongshi, LI Youqiang. Division of “layer

- exploration unit" and high-efficiency exploration in mature exploration area[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(3):520-527.
- [2] 曹忠祥,李友强.济阳拗陷“十一五”期间探井钻探效果及对策分析[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(6):1-5.
CAO Zhongxiang, LI Youqiang. Drilling result of exploration wells and analysis on measures for Jiyang depression during the "11th Five-Year" [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(6):1-5.
- [3] 王永诗,李友强.胜利油区东部探区“十二五”中后期勘探形势与对策[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(4):5-9.
WANG Yongshi, LI Youqiang. The exploration situation and countermeasures in the late 12th Five-Year Plan in the eastern area of Shengli oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(4):5-9.
- [4] 宋国奇.哲学与油气勘探——济阳拗陷现阶段地质研究的思维方法探讨[J]. *油气地质与采收率*, 2010, 17(1):1-5.
SONG Guoqi. Philosophy and petroleum exploration—Discussion on the thinking method of geological research in Jiyang Depression at present stage [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2010, 17(1):1-5.
- [5] WHITE D A, GEHAMN H M. Methods of estimating oil and gas resources[J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(12):2 183-2 192.
- [6] 王学军,郭玉新,杜振京,等.济阳拗陷石油资源综合评价与勘探方向[J]. *中国石油勘探*, 2007, 12(3):7-12, 57.
WANG Xuejun, GUO Yuxin, DU Zhenjing, et al. Synthetic evaluation of oil resources in Jiyang Depression and its exploration direction [J]. *China Petroleum Exploration*, 2007, 12(3):7-12, 57.
- [7] 周总瑛,白森舒,何宏.成因法与统计法油气资源评价对比分析[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(1):67-73.
ZHOU Zongying, BAI Senshu, HE Hong. Comparison of genetic and statistical methods for petroleum resource assessment [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(1):67-73.
- [8] 张林晔,李政,孔祥星,等.成熟探区油气资源评价方法研究——以渤海湾盆地牛庄洼陷为例[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(4):477-489.
ZHANG Linye, LI Zheng, KONG Xiangxing, et al. Study on evaluation method of petroleum resources in mature exploration area: Taking Niuzhuang Sag of Bohaiwan Basin as an example [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(4):477-489.
- [9] 徐忠美,金之钧,孙红军,等.基于广义帕莱托分布的关键参数求取方法探讨[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(5):517-520.
XU Zhongmei, JIN Zhijun, SUN Hongjun, et al. The discussion about how to obtain the key parameters of generalized Pareto distribution [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2010, 32(5):517-520.
- [10] 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.
JIN Zhijun, ZHANG Jinchuan. Fundamental principles for petroleum resources assessments [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(1):19-23.
- [11] 郝雪峰,尹丽娟,林璐.济阳拗陷油藏类型及属性分布有序性[J]. *油气地质与采收率*, 2016, 23(1):8-13.
HAO Xuefeng, YIN Lijuan, LIN Lu. Ordered distribution of reservoir type and its attributes in Jiyang depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2016, 23(1):8-13.
- [12] 郝雪峰.陆相断陷盆地沉积相律与油藏类型序列类比分析[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(5):1-2, 6.
HAO Xuefeng. Analogy of the sedimentary facies rule & pool type succession in continental rifted basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(5):1-2, 6.
- [13] 刘雅利,王永诗,郝雪峰,等.渤南洼陷油气分布有序性探讨[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(4):10-15.
LIU Yali, WANG Yongshi, HAO Xuefeng, et al. A discussion on the continuance of hydrocarbon distribution in Bonan sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(4):10-15.
- [14] 罗胜元.沾化凹陷渤南洼陷超压系统与油气成藏研究[D].北京:中国地质大学(北京), 2015.
LUO Shengyuan. Study on the overpressure characteristic and hydrocarbon accumulation in Bonan subsag, Zhanhua Sag [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- [15] 安天下.多物源体系控制下的沉积演化规律差异性——以渤海湾盆地渤南洼陷南斜坡沙三中上亚段为例[J]. *中国石油大学胜利学院学报*, 2018, 32(1):11-15.
AN Tianxia. Differences of sedimentary evolution laws under the control of multiple source systems—A case study of the upper and middle segments of Es₃ in the south slope of Bonan sag, Bohai Bay Basin [J]. *Journal of Shengli College China University of Petroleum*, 2018, 32(1):11-15.
- [16] 姜超.断陷湖盆斜坡带重力流砂体沉积特征及沉积模式——以沾化凹陷渤南洼陷南部斜坡带沙三段为例[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(1):6-13.
JIANG Chao. Characteristics and model of gravity flow sand body deposition in the slope zone of rifted lacustrine basin: A case study from the Sha3 member in the south slope zone of Bonan Sag, Zhanhua Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(1):6-13.
- [17] 刘绍平,汤军,许晓宏.数学地质方法及应用[M].北京:石油工业出版社, 2011:29-32.
LIU Shaoping, TANG Jun, XU Xiaohong. Methods and applications of mathematical geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011:29-32.
- [18] 宋明水,徐春华.从烃源灶到油气田运移路径上的圈闭评价——以济阳拗陷为例[J]. *油气地质与采收率*, 2019, 26(3):1-8.
SONG Mingshui, XU Chunhua. Evaluation of trap on migration pathway from hydrocarbon kitchen to oil-gas field: A case study of Jiyang Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2019, 26(3):1-8.