

文章编号: 1000-0747(2013)01-0027-09

成熟探区精细勘探分层系区带评价方法

牛嘉玉, 姜雪竹, 刘海涛, 蒋凌志, 吴小洲

(中国石油勘探开发研究院)

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05006-005)

摘要: 随着中国一些油气探区逐步进入勘探成熟或高成熟期, 传统的多层系“复式”整体评价已不能满足老油区精细勘探的评价精度和要求, 在对比国内外勘探评价体系特点和消化吸收国外“成藏组合”评价思路的基础上, 提出了“分层系区带评价”的评价思路和方法。分层系区带评价由地质评价、资源量估算与综合评价优选等3大环节构成, 强调按区域或次级区域盖层及与其相匹配的储集层和供烃区来划分和确定区带的评价层系, 针对各评价层系, 确认已钻探井的测试结果分类和已知油气藏的分布, 刻画主控地质要素的边界; 在主控地质因素研究和基础图件编制的基础上, 对已确认主控地质要素进行“多图叠合”, 落实有利区带的分布范围和类型, 同时明确各区带的输导通道类型和体系构成特征以及油气充注的能力, 标出最有利的远景圈闭分布。渤海湾盆地歧口凹陷勘探实践结果表明: 该套评价思路和方法的应用效果显著。图6表3参28

关键词: 精细勘探; 勘探评价体系; 成藏组合; 分层系区带评价

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Detailed assessment of a single-combination oil-gas accumulation zone in a mature exploration basin, China

Niu Jiayu, Jiang Xuezhu, Liu Haitao, Jiang Lingzhi, Wu Xiaozhou

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: As some basins or blocks in China, especially old oil and gas fields, have already entered the mature or highly mature stage in exploration, the old traditional assessment method that treats “complex horizons” as a whole part can not meet the high resolution and precision requirements for detailed exploration in these areas. By comparing oil-gas evaluation systems at home and abroad and considering the evaluation method for “play” abroad, a single-combination assessment method for oil and gas accumulations in high matured exploration basins were put forward. The new method, composed of geological evaluation, resources estimation and target selection, focuses on conducting a division of the assessment horizon based on a combination of a regional/sub-regional seal and its corresponding reservoirs and hydrocarbon-supplying area, confirms the test results of drilled wells and the distribution of known reservoirs, and depicts boundaries of every key geological element. Finally, these preliminary maps of key elements are overlapped to figure out the scope and type of favorable exploration targets, hydrocarbon-supplying system, channel types, charge capacities, and the most favorable prospective traps. Detailed exploration practices in Qikou depression, Bohai Bay Basin, show this evaluation method works well.

Key words: fine exploration; exploration assessment system; play; single-combination assessment

0 引言

成熟探区是指勘探开发时间长, 勘探程度高, 资源探明率超过 50%, 目前新发现的单个油藏储量规模以中小型为主的老油区。进入勘探成熟期的含油气盆地(或油区)中, 正向构造圈闭型油气藏多已被发现和探明, 而非构造圈闭型油气藏(即隐蔽型油气藏)则成为油气勘探的主要对象。目前中国成熟探区主要包括松辽和渤海湾盆地各探区、准噶尔盆地西北缘、酒泉盆地酒西、四川盆地川中等地区。近年来的精细

勘探实践表明, 成熟探区依然是中国增储上产的主战场, 精细勘探年新增探明储量均占全盆地的 50% 以上。成熟探区精细勘探已形成许多行之有效的思路和做法, 油气勘探效果非常显著。其中, 勘探区带的分层系评价已成为有效的作法之一。

1 国内外油气勘探评价体系对比

自 1859 年完钻世界第 1 口油井至今, 历经 100 多年的油气勘探实践和研究, 美欧等国家(地区)和中

国的石油勘探研究者们结合本国含油气区的地质特征，已分别建立了依次从含油气大区、含油气盆地、盆地内次一级评价单元、最终到圈闭的各自较为成熟的油气勘探评价体系（见图 1）。国内外评价体系的差别主要体现在盆地内次级评价单元的界定和评价方法上^[1-5]。中国老一辈地质学家自 20 世纪 60 年代开始，通过对中国陆相石油地质理论认识的不断深化和勘探实践，先后提出和应用“源控论”、“复式油气聚集（区）带”或“区带”等概念和评价方法，发现和探明了中国许多大油气田；而以美国为代表的研究者在 20 世纪 70、80 年代提出了“含油气系统”和“成藏组合”等概念和评价方法。由图 1 可以看出，在第 3 和第 4 级

评价单元，国内外存在较大差异。在第 3 级评价单元的认识上，国外提出了以“四图一表”为核心的“含油气系统”研究方法^[6]。在中国，陆相盆地油气生成中心控制油气藏的展布^[7]。因此，中国以陆相盆地断陷或凹陷为第 3 级评价单元，依据所建立的断陷或凹陷的油气分布模式，开展各类沉积凹陷的石油地质综合评价，但并未制定相应的工业性规范，评价工作具有较多的灵活性。

在第 4 级评价单元的认识上，国外提出了“Play”勘探评价方法。国内学者由于语言翻译和理解的差异^[8-9]，对“Play”一词有不同表述。若将“Play”译成“成藏组合”，字面本身似乎赋予了“Play”一词更多纵向或剖面上的意义；若将“Play”对应于中国勘探评价体系中的“区带”一词，则赋予给“Play”一词多层系叠合、平面上连片的涵义，这不仅与“Play”的定义，也与中国勘探评价体系中的“复式油气聚集（区）带”概念相矛盾。国外“Play”与中国“区带”的区别见表 1。笔者认为对“Play”一词如何翻译和表述不必过多争论，关键在于如何将“Play”的勘探评价思路和方法，通过借鉴、吸收和消化，应用于中国勘探评价体系中。

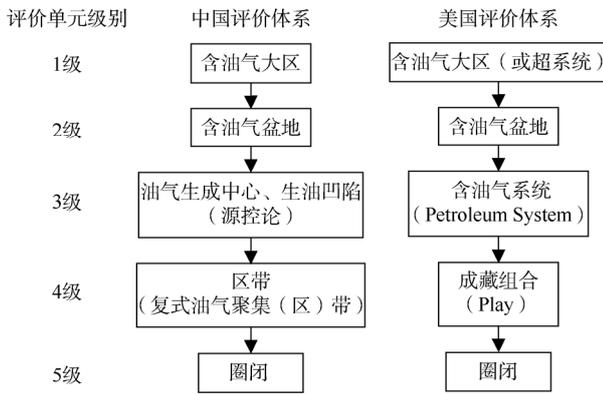


图 1 国内外油气勘探评价体系对比图

表 1 国外“Play”与中国“区带”特征对比表

评价单元	命名原则	平面评价范围	纵向评价范围	盖层	储集层	油气充注体系	圈闭类型	勘探思路	适用性
“Play”	储集层名称为主	从供烃区、经输导路径区到已知油气藏和圈闭发育区	以储集岩为主体的单一层系	一套次级区域性盖层（仅封盖供烃区到油气藏和圈闭发育区的整体区域范围）	一套储集层系	强调同一充注体系，关注供烃区和输导路径区，便于计算油气聚集量	一种或多种类型	突出一套层系的商业性评价和勘探	商业性快速评价
区带	地名和构造或沉积单元名称为主	同一构造带或地层岩性带的不同层系、不同类型油气藏叠合连片发育区	多套层系	多套区域或局部盖层	多套储集层系	不强调同一充注体系，常将深注供烃区或斜坡低部位区单独划带	多种类型	突出多层整体评价、强调立体勘探	早、中期勘探评价

2 国外“成藏组合”与国内“区带”的特征对比

第 4 和第 5 级评价单元作为商业勘探阶段的研究对象^[1]，在勘探实践中最受关注和重视。由于圈闭是最直接的钻探目标，圈闭评价在中国油气勘探评价实践中属于最为成熟和完善的环节。但“区带”评价环节，由于不是直接的钻探目标，一直是中国勘探实践中相对薄弱的环节。然而，“区带”评价直接影响石油工业的勘探战略部署、投资策略与勘探方向的选择。

国外油气勘探评价中，一直把“Play”作为商业性勘探评价的基本单元。关于“Play”的定义，如上文所

述，不同学者的理解有所差别^[8-9]，但核心内容是一致的，笔者在本文使用“成藏组合”的翻译。目前使用最广泛的对“成藏组合”的定义为 Allen P A 等的表述^[8]：在一个特定地层层系中，享有共同储集层、区域盖层、油气充注体系的一组未钻探的远景圈闭和已发现的油气藏。“成藏组合”的关键地质要素主要包括储集层、区域盖层、油气充注体系（有效烃源岩和向圈闭聚集的输导系统）、圈闭，以及上述 4 要素的有效配置关系等 5 个方面。如果还无法确认一个“成藏组合”的关键地质控制要素是否能够有效配置、构成油气聚集，则这个“成藏组合”被认为是未证实的。

White D A 提出了“成藏组合”综合评价图件的编

制和展示方法^[10]，认为“成藏组合评价图”展示了全部关键地质要素（包括油气源、运移、储集层、盖层、圈闭、形成时间和保存等）界定的有利区。这一图件的编制以全部常规勘探图件为基础，突出强调了全部关键地质控制要素的系统综合，缺一不可。这种评价图件的展示方式与中国油气勘探评价体系中的有利勘探区带综合评价图近似。

Allen P A 等提出以“Play Fairway”来表述“成藏组合”在平面上的地理分布范围^[8]。这一范围最早用储集层系的沉积边界或缺失线界定，目前已开始用其他控制要素的已知边界来共同界定。Allen P A 等还对 White

DA 编制的理想“成藏组合”综合评价图进行了简化和修改（见图 2a），且进一步提出：对于一个未证实的“成藏组合”，由于在一个层系中储集层等各种关键控制要素的特征是变化的，表现出一定的非均一性，因此可依据“成藏组合”的有效性概率（Play Chance，包括控制要素是否具备以及相互配置的有效性等）预测的油气藏规模和钻井成功率等 3 个方面进一步划分出次一级的分区单元（Segment），每个分区单元都具有各自的风险概率（见图 2b），这相当于在中国油气勘探区带评价中分出的有利区、较有利区和较差区等。本文认为这种“Segment”更近似于中国勘探区带的平面界定范围。

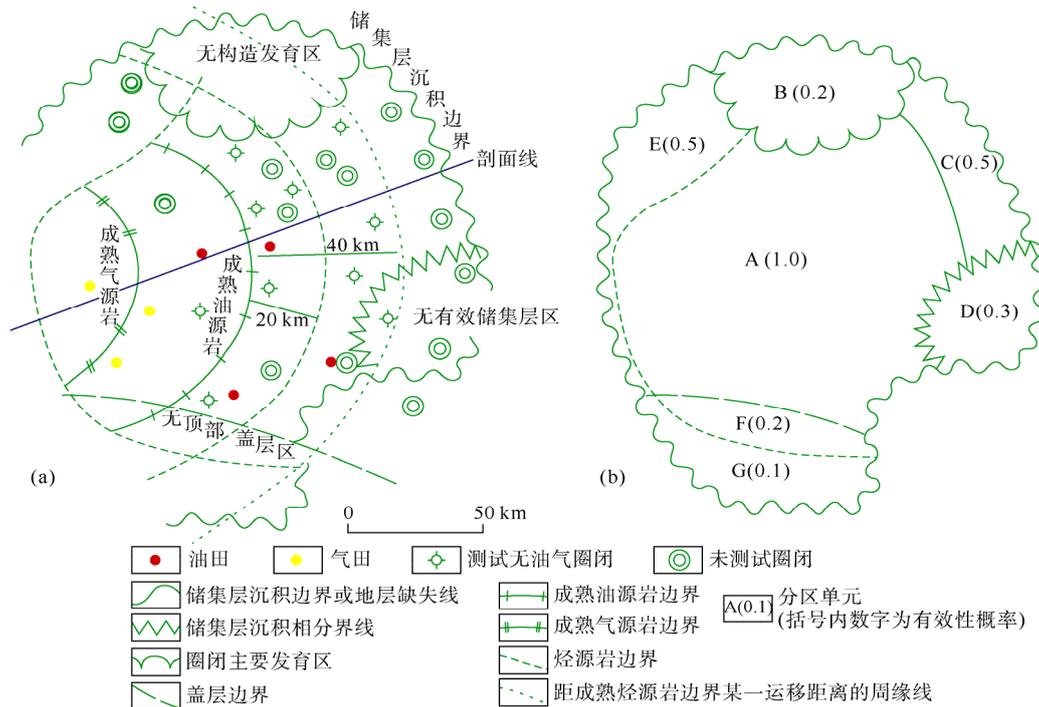


图 2 “成藏组合评价图”范例 (a) 与分区评价图 (b)

中国在 20 世纪 80 年代开展的第 1 轮全国油气资源评价中^[11]，对“区带”一词的表述相对模糊，可指凹陷中的次级构造带，也可指一个大的断裂带，或一群远景构造圈闭，或一个地层岩性圈闭带，或一个相当规模的勘探区或区块^[12]。20 世纪 90 年代开展的第 2 轮全国油气资源评价中，受到国外“Play”评价方法的影响，对“区带”一词的表述要系统得多^[13]。认为一个区带往往就是一个“复式油气聚集（区）带”。评价范围除凹陷中的二级构造带或岩性带外，不包含供烃区和油气运移路径区的范围。复式油气聚集（区）带理论^[14]和相应的滚动勘探开发经验为中国石油天然气工业提供了强有力的理论指导和技术支持。同时，中国地质工作者还指出沉积盆地具有多套含油气结构层

系，例如渤海湾盆地具有新近系、古近系和前第三系等 3 层含油气结构层系，相应构成了“下生上储”、“自生自储”和“新生古储”等 3 套成油组合，每套成油组合的生储盖组合和圈闭类型等均有差异。这种组合特征的论述与国外的“Play”有相近之处。这也正是中国大多学者倾向于将国外的“Play”译成“成藏组合”的原因。笔者认为“含油气区带”（或“区带”）是指盆地内受控于同一沉积和构造背景，有共同储集层、盖层和相近油气充注条件的多个有利圈闭和已发现油气藏的组合发育带，其中的圈闭或油气藏可多种类型共存。区带可具有一套或多套地质层系。沉积和构造背景包括各种类型的背斜构造带、断裂构造带、斜坡构造带、地层超覆带、地层不整合剥蚀带、岩性上倾

尖灭带、潜山构造带、火山岩等特殊岩性体分布带等。

3 区带分层系评价的思路和方法

近年来,随着中国油气勘探开发的不断深入,一些探区已逐步进入勘探成熟或高成熟期,以精细地质评价和精细系统研究为主导的精细勘探成为老区增

储上产的重要保障。在消化、吸收国外“成藏组合”评价思路和方法的基础上,本文系统总结并提出了“分层系区带评价”的评价思路和方法(见图3),勘探实践结果表明该套方法和评价思路的应用效果显著。“分层系区带评价”同样由地质评价、资源量估算与综合评价优选等3大环节构成。

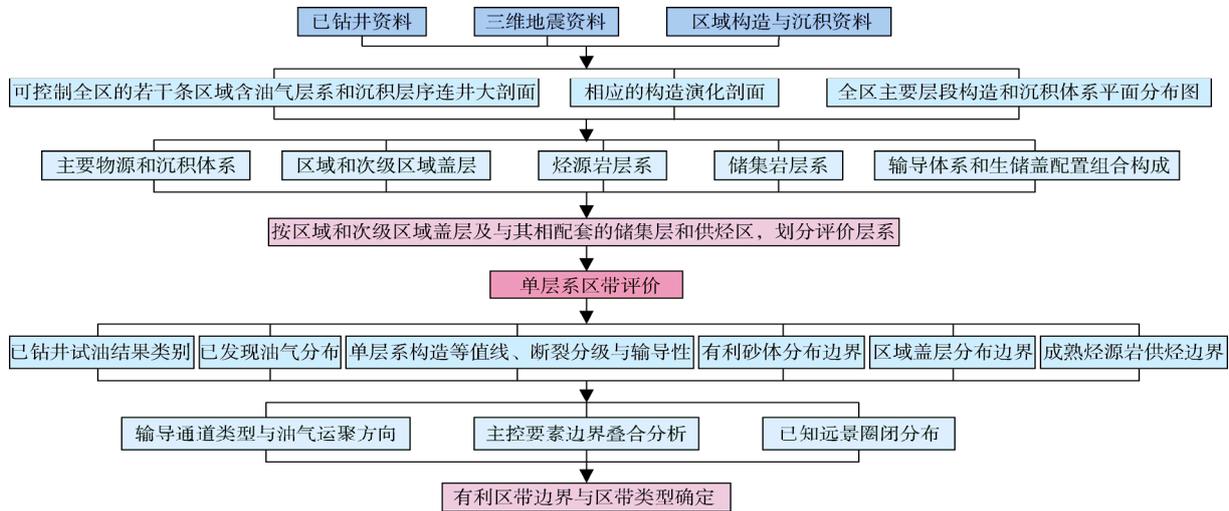


图3 成熟探区精细勘探分层系区带地质评价流程图

3.1 地质评价

成熟探区具有较多的钻井资料和三维地震资料,结合构造和沉积特征可首先编制出若干条可控制评价区全区的含油气层系和沉积层序连井大剖面,明确已知的含油气层系、主要封盖层、主要烃源岩和储集层系,落实评价区输导体系整体特征和生储盖相互配置的组合特征,最终确定研究区需评价的主要层系。需强调的是应按区域或次级区域盖层及与其相匹配的储集层和供烃区来划分和确定各个单一的区带评价层系。

对于给定的单一评价层系,除需确认已钻井的测试结果分类(高产或低产油气流井、油气显示井、产水井、干井等)和已知油气藏的分布外,还需刻画主控地质要素的边界,具体包括:

编制评价层系顶部或内部界面的构造图,落实构造形态和变化特征。对发育的各种断裂按发育时期和控制沉积的规模进行分级,如继承性的控盆或控凹断裂、中等规模的控带断裂、晚期发育的次级或伴生小断裂等。同时,研究各级断裂在该层系沉积时期的活动强度及对油气的输导性和封闭性。

编制该套层系成熟烃源岩厚度和生烃强度等值线图,落实评价区烃源岩供烃区的边界和生烃强度的变化边界等。

在盆地主要物源和沉积体系演化特征研究的基

础上,落实该层系主要物源方向上的有利砂体分布边界,以及该套砂层组的沉积微相变化或缺失边界,明确有利储集层的分布范围。

编制该套层系顶部盖层(基本封盖供烃区到油气藏和圈闭发育区的整体区域范围)厚度等值线图,落实评价区顶部盖层的分布范围、厚度变化和被各级断裂切割的情况,明确该套顶部盖层在评价区各处的油气封盖性和泄漏程度。

在上述主控地质因素研究和基础图件编制的基础上,开展已确认主控地质要素的“多图叠合”,对各种主控地质要素的边界线进行叠加分析,落实有利区带的分布范围和类型。同时,明确各区带的输导通道类型和体系构成特征以及油气充注的能力,标出最有利的远景圈闭分布。

3.2 资源量估算

由于各个评价层系的勘探程度、认识程度和基本地质特征不同,资源量估算的方法也不相同。通用的方法包括成因法、类比法和统计法等3大类^[15-17]。其中,统计法需要有足够多的样本,因此适用于中、高勘探程度评价区;以盆地模拟技术为主导的成因法,其优点是参数与结果的地质意义明确、成藏研究成果可直接应用于资源量计算,在高成熟勘探区也具有较好的适用性和可靠性;类比法则适用于低勘探程度区评价。

3.3 综合评价优选

为了识别出各个区带成藏条件的优劣、勘探潜力的大小及勘探风险的高低，需量化各项区带评价要素，并建立评价参数体系。具体可分为地质评价和资源评

价两大部分（见表2）^[18-25]。在突出成藏主控要素的前提下，将区带地质评价、资源量评价2大项17项参数分别赋予相应的权重值进行加权叠加，从而得到区带综合评价价值。

表2 区带地质评价、资源评价参数及标准

综合评价价值	油源条件			储集层条件				盖层条件		
	烃源岩厚度/m	生烃强度/ $(10^4 t \cdot km^{-2})$	距油源区距离/km	输导条件	沉积相	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3} \mu m^2$	厚度/m	岩性	断裂破坏程度
75~100	>500	>1 000	<10	储集层+断层+不整合	三角洲、滨浅湖	>25	>600	>200	膏盐岩、泥膏岩	无
50~75	300~500	600~1 000	10~25	断层/不整合+储集层	扇三角洲	15~25	100~600	100~200	厚层泥岩	弱
25~50	100~300	200~600	25~50	断层	水下扇、河道、重力流	8~15	10~100	50~100	泥岩	较强
0~25	<100	<200	>50	不整合	洪积扇、冲积扇	<8	<10	<50	钙质、砂质等脆性泥岩	强

综合评价价值	圈闭条件		配套条件		资源储量规模		区带面积/ km^2
	面积系数/%	幅度/m	圈闭形成期较生烃高峰先后	生储盖匹配	区带资源量/ $10^4 t$	待发现资源量/ $10^4 t$	
75~100	>30	>400	早	自生自储	>10 000	>5 000	>300
50~75	20~30	200~400	早或同时	下生上储	5 000~10 000	3 000~5 000	200~300
25~50	10~20	50~200	同时或晚	上生下储	2 000~5 000	500~3 000	100~200
0~25	5~10	<50	晚	异地生储	<2 000	<500	<100

4 分层系区带评价实例

歧口凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷中北部，受沧县、埕宁、燕山3大外部物源的控制，沙河街组—东营组湖相沉积巨厚，发育沙三段、沙二段、沙一段和东营组4套烃源岩层系和下水扇、三角洲、滩坝、河流相等多类型砂体^[26-27]，纵向上构成多套生储盖组合。通过对歧口凹陷530余口井区域连井对比分析，依据主要盖层的发育特征、储集层及主要供烃层系的发育特征，可划分出7套区带评价层系（或成藏组合）：Ed、Es₁^上、Es₁^{中+下}、Es₁^下—Es₂^上、Es₂^{中+下}、Es₃¹以及Es₃²等组合（见图4）。本文以Es₃²评价层系为例论述分层系区带评价的过程和实践。

4.1 歧口凹陷沙三段区带地质评价

沙三段沉积时期为歧口凹陷湖盆最全盛时期，发育深湖—半深湖相沉积，泥岩占沉积地层厚度的50%~80%。烃源岩厚度大，分布广，有机质丰度高、类型好。生烃模拟表明沙三段已进入成熟—高成熟演化阶段，生烃强度大，为最主要的生烃层系。现今歧口主凹区和歧北次凹均为主要的供烃区。大物源控制大规模砂体储集层，而沉积沉降中心控制盖层厚度。以Es₃²沉积时期为例，在沧县隆起一侧发育5个沉积物源入口，形成有利砂体沉积。Es₃²较好的储集砂体主要为水下扇水道砂、三角洲前缘分支河道砂、河口坝砂及滨浅湖滩坝等^[28]。Es₃²成藏组合有利砂体厚度最大可达200 m，平均厚度40~80 m。盖层厚度最大可达350 m，平均80~120 m。已发现油气主要分布在储

集层厚度为30~80 m、盖层厚度大于20 m的地区。

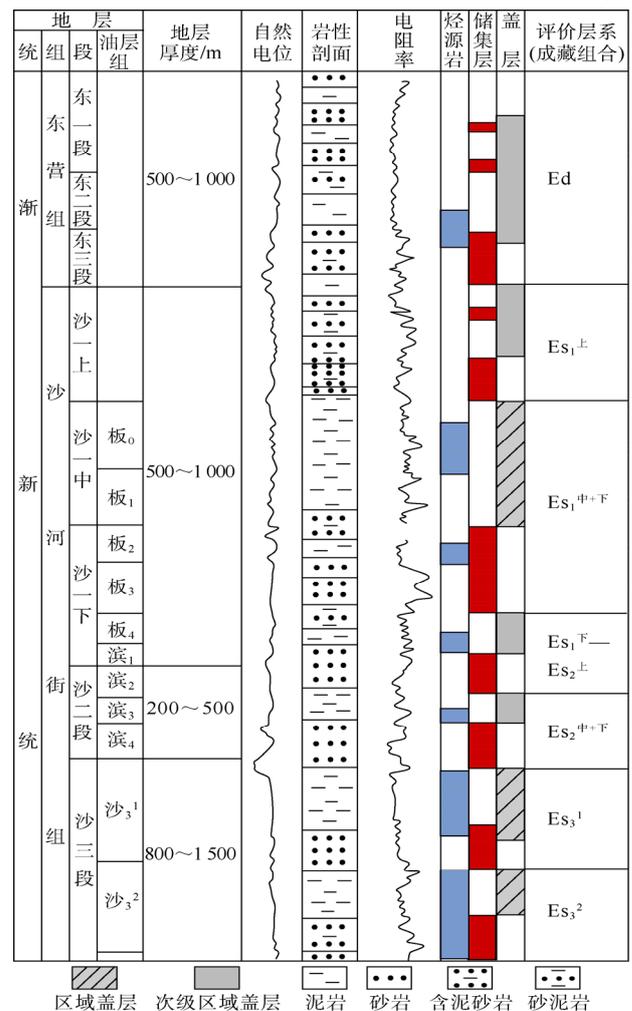
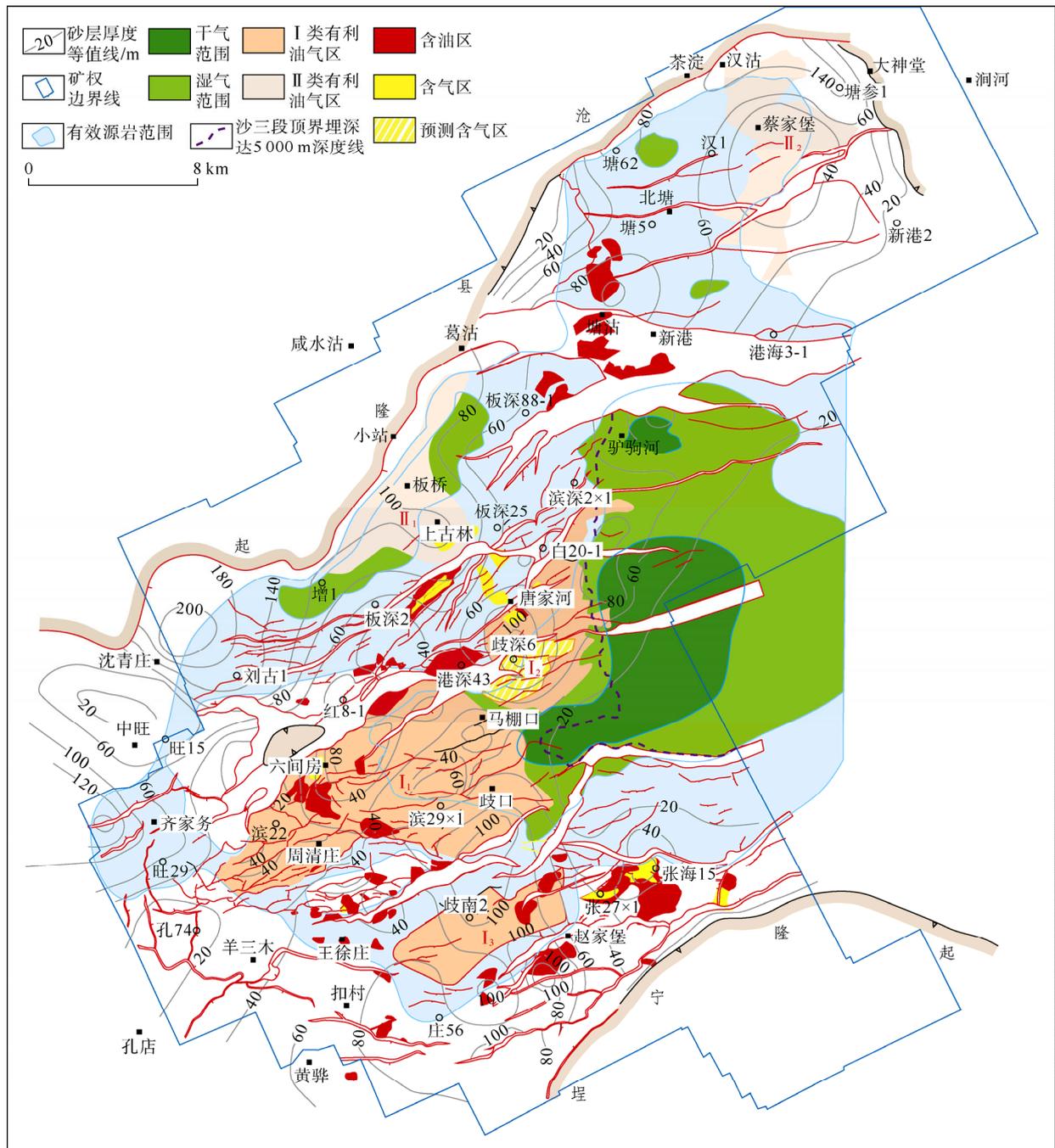


图4 歧口凹陷古近系区带评价层系划分剖面

强调可靠地质模型的建立，利用成藏动态模拟技术和方法，计算出各区带的地质资源量（见表3）。依据区带评价参数体系与标准，评价出 类有利勘探区带 3 个，即歧北岩性-构造缓坡带、滨海构造-岩性断鼻带、歧南构造-地层缓坡带； 类有利勘探区带 2 个，即板桥构造陡坡带和北塘构造-岩性缓坡带。

总之，区带分层系精细评价与优选，为油气勘探

部署与决策提供了重要参考。近两年来歧北岩性-构造缓坡带岩性油气藏勘探取得了重大突破，其中 Es_3^2 成藏组合发现了 $3\ 000\times 10^4$ t 级规模增储区、 $Es_2^{中+下}$ 成藏组合发现了 $6\ 000\times 10^4$ t 级规模增储区， $Es_1^{中+下}$ 成藏组合发现了 $4\ 000\times 10^4$ t 级规模增储区。另外在张东断层下降盘的 $Es_2^{中+下}$ 成藏组合发现了近 2×10^8 t 级整装储量区带。



1—歧北岩性-构造缓坡带； 2—滨海构造-岩性断鼻带； 3—歧南构造-地层缓坡带； 1—板桥构造陡坡带； 2—北塘构造-岩性缓坡带

图 6 歧口凹陷 Es_3^2 有利区带平面分布图

表3 歧口凹陷 E_{S3}² 区带评价基础数据表

区带	圈闭条件		盖层条件			储集层条件			区带面积/ km ²
	面积系数/%	幅度/m	厚度/m	岩性	断裂破坏程度	沉积相	孔隙度/%	渗透率/10 ⁻³ μm ²	
歧北岩性-构造缓坡带	74	50~700	80~350	泥岩	中等	辫状三角洲	2~35(12)	0.01~7 350 (112)	
滨海构造-岩性断鼻带	89	300~1 300	200~320	泥岩	中等	水下扇	4~34(18)	0.01~6 600 (125)	
歧南构造-地层缓坡带	71	40~400	40~80	泥岩	弱	辫状三角洲	6~29(20)	0.02~6 709 (93)	
板桥构造陡坡带	46	900~1 100	120~140	泥岩	弱	扇三角洲	4~34(19)	0.01~4 980 (50)	
北塘构造-岩性缓坡带	58	60~200	100~300	泥岩	弱	辫状三角洲	4~35(19)	0.01~4 440 (47)	

区带	油源条件			输导条件	配套条件		资源储量规模		区带面积/ km ²
	烃源岩 厚度/m	生烃强度/ (10 ⁴ t · km ⁻²)	距油源区 距离/km		圈闭形成期较生烃 高峰先后	生储盖匹配	区带资源量/ 10 ⁴ t	待发现资源量/ 10 ⁴ t	
歧北岩性-构造缓坡带	1 400	700~1 700	近源	断层+储集层	早	自生自储	12 000	9 260	360
滨海构造-岩性断鼻带	1 600	900~1 600	近源	断层	早	自生自储	4 900	4 820	136
歧南构造-地层缓坡带	300	300~500	5.6	断层+储集层+不整合	晚	自生自储	3 300	3 030	92
板桥构造陡坡带	400	200~500	近源	断层	同时	自生自储	3 100	3 100	116
北塘构造-岩性缓坡带	600	200~400	6.5	断层	同时	自生自储	2 600	2 600	130

注：括号内数值为平均值

5 结语

多年来，中国以“复式油气聚集（区）带”为主导的油气勘探评价方法取得了丰硕的勘探成果，但随着一些探区，尤其是老油区，逐步进入勘探成熟或高成熟期，传统的多层系“复式”整体评价已不能满足老油区精细勘探的评价精度和要求。老油区的精细勘探实践表明：“分层系区带评价”思路与方法确保了成熟探区精细勘探储量的稳定增长。按区域或次级区域盖层及与其相匹配的储集层和供烃区划分和确定区带的评价层系，是老油区精细勘探评价的关键环节。

参考文献：

- [1] 童晓光. 论成藏组合在勘探评价中的意义[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(6): 1-8.
Tong Xiaoguang. Importance of play during oil-gas exploration evaluation[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute: Natural Science Edition, 2009, 31(6): 1-8.
- [2] 李明宅. 对中国油气储量分类体系的思考[J]. 中国石油勘探, 2003, 8(2): 69-74.
Li Mingzhai. Thinking on classification of China oil-gas reserves[J]. China Petroleum Exploration, 2003, 8(2): 69-74.
- [3] 孟繁莉, 曹成润, 牛继辉. 中外油气资源评价方式差异的探讨[J]. 世界地质, 2005, 24(4): 363-367.
Meng Fanli, Cao Chengrun, Niu Jihui. Discussion on difference in petroleum resources evaluation between China and foreign

- countries[J]. World Geology, 2005, 24(4): 363-367.
- [4] 刘广野. 油气资源分类及评价方法[J]. 海洋地质动态, 2008, 25(3): 32-36.
Liu Guangye. Evaluation method and classification of petroleum resources[J]. Marine Geology Development, 2008, 25(3): 32-36.
- [5] 童晓光, 何登发. 油气勘探原理和方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 21-42.
Tong Xiaoguang, He Dengfa. Principle and method of petroleum exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 21-42.
- [6] Magoon L B, Dow W G. 含油气系统: 从烃源岩到圈闭[M]. 张刚, 译. 北京: 石油工业出版社, 1998.
Magoon L B, Dow W G. Petroleum system: From source to trap[M]. Zhang Gang, Translated. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998.
- [7] 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, 1991.
Hu Jianyi. The basis of China terrestrial petroleum geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991.
- [8] Allen P A, Allen J P. Basin analysis: Principles and applications[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990.
- [9] White D A. Assessing oil and gas plays in faces-cycle wedges[J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(8): 1158-1178.
- [10] White D A. Oil and gas play maps in exploration and assessment[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(8): 944-949.
- [11] 童晓光, 李浩武, 肖坤叶, 等. 成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 317-323.
Tong Xiaoguang, Li Haowu, Xiao Kunye, et al. Application of quick analysis of play in oversea basins at low exploration stages[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 317-323.

- [12] 胡见义. 中国石油天然气资源评价研究总报告[R]. 北京: 石油工业部石油勘探开发科学研究院, 1987.
Hu Jianyi. General research report on petroleum resources evaluation in China[R]. Beijing: Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Ministry of Petroleum Industry, 1987.
- [13] 翟光明. 第二轮全国油气资源评价专题报告(二): 油气资源评价方法与技术[R]. 北京: 中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院, 1994.
Zhai Guangming. The second China national petroleum resources evaluation report(Volume 2): Method and technology of petroleum resources evaluation[R]. Beijing: Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, 1994.
- [14] 张文昭. 中国陆相盆地油气藏类型及复式油气聚集区油气藏序列[J]. 大庆石油地质与开发, 1989, 8(4): 1-14.
Zhang Wenzhao. All types of hydrocarbon accumulations and their composite accumulated areas in the continental basins of China[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1989, 8(4): 1-14.
- [15] 郭秋麟, 米石云. 油气勘探目标评价与决策分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 19-93.
Guo Qiulin, Mi Shiyun. Target evaluation and decision-making analysis of oil-gas exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 19-93.
- [16] 武守诚. 油气资源评价导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 95-250.
Wu Shoucheng. Introduction of oil-gas resources evaluation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 95-250.
- [17] 赵旭东. 石油数学地质概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
Zhao Xudong. Introduction to petroleum mathematical geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.
- [18] 胡素云, 柳广第, 李剑, 等. 区带地质评价参数体系与参数分级标准[J]. 石油学报, 2005, 26(增刊): 73-76.
Hu Suyun, Liu Guangdi, Li Jian, et al. Parameters and classification of geological evaluation of oil-gas zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(Supp.): 73-76.
- [19] 郭秋麟, 翟光明, 石广仁. 改进的区带综合评价模型与方法[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 7-11.
Guo Qiulin, Zhai Guangming, Shi Guangren. The improved evaluation model and method of oil-gas zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(2): 7-11.
- [20] 罗佳强, 吴朝东. 陆相含油气盆地中高勘探程度区油气精确勘探方法研究[J]. 地学前缘, 2010, 17(4): 241-252.
Luo Jiaqiang, Wu Chaodong. Research of oil and gas exploration method accurately in the area of middle-high exploration level in the continental basin[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(4): 241-252.
- [21] 孙耀华, 罗涛. 一种量化区带综合评价方法[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(3): 25-26.
Sun Yaohua, Luo Tao. A kind of quantitatively evaluation method of oil-gas zones[J]. Journal of Jianghai Petroleum Institute, 2004, 26(3): 25-26.
- [22] 谈迎, 刘德良. R型因子分析和油气区带评价的多层系垂向叠合[J]. 中国科学技术大学学报, 1999, 29(6): 658-663.
Tan Ying, Liu Deliang. R-factor analysis and vertical overlapping of multi-horizons of oil-gas zone evaluation[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 1999, 29(6): 658-663.
- [23] 王玉满, 黄旭楠, 程坤芳, 等. 断陷盆地岩性勘探目标评价方法: 以渤海湾盆地为例[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 122-128.
Wang Yuman, Huang Xu'nan, Cheng Kunfang, et al. Evaluation methodology of lithologic exploration areas in rift basins: A case from the Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 122-128.
- [24] 姜福杰, 庞雄奇. 环渤中凹陷油气资源潜力与分布定量评价[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 23-29.
Jiang Fujie, Pang Xiongqi. Quantitative evaluation of hydrocarbon resource potential and its distribution in the Bozhong Sag and surrounding areas, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 23-29.
- [25] 王瑞飞, 沈平平, 赵良金. 深层储集层成岩作用及孔隙度演化定量模型: 以东濮凹陷文东油田沙三段储集层为例[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 552-559.
Wang Ruifei, Shen Pingping, Zhao Liangjin. Diagenesis of deep sandstone reservoirs and a quantitative model of porosity evolution: Taking the third member of Shahejie Formation in the Wendong Oilfield, Dongpu Sag, as an example[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(5): 552-559.
- [26] 张宪国, 林承焰, 张涛, 等. 大港滩海地区地震沉积学研究[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 40-46.
Zhang Xianguo, Lin Chengyan, Zhang Tao, et al. Seismic sedimentologic research in shallow sea areas, Dagang[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 40-46.
- [27] 蒲秀刚, 周立宏, 肖敦清, 等. 黄骅坳陷歧口凹陷西南缘湖相碳酸盐岩地质特征[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 136-144.
Pu Xiugang, Zhou Lihong, Xiao Dunqing, et al. Lacustrine carbonates in the southwest margin of Qikou Sag, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(2): 136-144.
- [28] 向雪梅, 王华, 王家豪, 等. 歧北凹陷古近系构造坡折带对圈闭的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(3): 314-320.
Xiang Xuemei, Wang Hua, Wang Jiahao, et al. Control of Paleogene structural slope-break on non-structural traps in the Qibeig Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(3): 314-320.

第一作者简介: 牛嘉玉(1963-), 男, 山东东平人, 博士, 中国石油勘探开发研究院教授级高级工程师, 主要从事石油地质勘探研究。地址: 北京市 910 信箱, 中国石油勘探开发研究院石油地质研究所, 邮政编码: 100083。E-mail: njy@petrochina.com.cn

收稿日期: 2012-05-04 修回日期: 2012-11-02

(编辑 黄昌武 绘图 刘方方)