

文章编号: 0253-2697(2009)03-0317-07

成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用

童晓光¹ 李浩武² 肖坤叶² 史卜庆¹

(1. 中国石油天然气勘探开发公司 北京 100034; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要: 现在中国石油企业海外低勘探程度区块逐渐增多,需要一套针对低勘探程度盆地(区块)快速确定勘探方向的方法。根据成藏组合与油气勘探的方向和勘探部署密切相关的特点,讨论了成藏组合的定义、研究内容及其与区带之间的区别,重点介绍了成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度 Melut 盆地迅速确定勘探方向时的应用。在资料分辨率保证的前提下,打破了国内勘探初期先平面分区、后分层评价的传统模式,勘探伊始就以最能反映油气聚集特征的纵向划分入手,划分出不同的成藏组合。在确定油源的前提下,通过对储层、盖层、运移通道、断层封闭性、构造、有利圈闭及配套条件等方面的快速分析,迅速确定了主力成藏组合和主力成藏带,优选了勘探目标,在苏丹 Melut 盆地取得良好的勘探效果。

关键词: 成藏组合;快速分析技术;低勘探程度盆地;Melut 盆地;勘探目标

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Application of play quick analysis technique in oversea basins with low-degree exploration

TONG Xiaoguang¹ LI Haowu² XIAO Kunye² SHI Buqing¹

(1. China National Oil and Gas Exploration and Development Corporation, Beijing 100034, China;

2. PetroChina Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Chinese oil companies have more and more low-degree exploration oversea basins or blocks, there's a keen need for some techniques which can get the exploration targets quickly in such area. On the basis of intimate relationship between play and exploration deployment, the paper discussed the definition of play, the difference between play and zone, and the content of play analysis. More attention was paid on the application of the play quick analysis technique in Melut Basin with low-degree exploration. The domestic exploration procedure usually divided a basin into planar areas in the first stage, then evaluated the layers of each area individually in the second stage. Under the condition of good seismic resolution, the exploration of Melut Basin abandoned the traditional model. In the first exploration stage, several plays were divided vertically in order to show the characteristics of petroleum accumulation more clearly. With the assurance of source rock, the main play and prospect targets were chosen quickly by the assessment of reservoir, cap rock, migration passageway, seal ability of the faults, structure characteristics, favorite traps and the allied conditions. Good exploration result has been obtained in Melut Basin.

Key words: play; quick analysis technique; low-degree exploration basin; Melut Basin; exploration target

近年来,中国石油公司的海外勘探业务正在蓬勃发展,海外勘探区块存在勘探周期短,先期掌握资料少的特点。因此,如何在海外低勘探程度地区尽快发现规模储量是摆在海外地质工作者面前的难题。笔者讨论了苏丹 Melut 盆地在地震资料质量和分辨率保证的前提下,改变国内先平面划分区带的传统做法,首先在纵向上根据储盖组合及圈闭特点划分几个成藏组合,在确定区域性烃源岩供烃的基础上,通过成藏组合快速分析来确定主力成藏组合,在此基础上优选主力成

藏带,圈定勘探目标,并在应用中取得了良好的效果。

1 成藏组合定义

西方通行的含油气地质单元共分 4 个层次:含油气盆地、含油气系统、成藏组合和圈闭,其中油气成藏组合是第 3 个层次,与油气勘探的方向和勘探部署密切相关。正由于成藏组合对勘探部署的重要性,其自提出至今即成为地质勘探家研究的热门话题之一,不同的学者也给了成藏组合稍有不同的定义。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技项目(2008E-0500)资助。

作者简介: 童晓光,男,1935 年 4 月生,1964 年获南京大学硕士学位,中国工程院院士,原中国石油天然气集团公司国际合作局副局长,现为中国石油天然气勘探开发公司顾问,长期从事石油天然气地质勘探和研究管理工作。E-mail: tongxg@cnpcint.com

Miller B M^[1]将其称为 Exploration play, Exxon 等公司也用此名词,指综合勘探方案得以建立有实际意义的单元,具有地理和地层的限制,常限于一组在岩性、沉积环境及构造发育史上密切相关的地层。White D A^[2-3]定义成藏组合是一组在地质上相互联系具有类似烃源岩、储层和圈闭条件的勘探对象。Croveli R A^[4]将成藏组合看成具有相似地质背景的远景圈闭的集合体。Parsley A J^[5]认为成藏组合是综合油气聚集必要条件的石油地质环境,每个成藏组合可以包含若干个已发现的油气田或远景圈闭。Podruski J A^[6]等和 Lee^[7]等认为成藏组合是由一系列远景圈闭或已发现油气藏组成,它们具有共同的油气生成、运移和储层发育史及圈闭结构,因此构成了一个局限于特定区域的自然地质总体。Allen P^[8]等认为成藏组合实际上是一组分享了共同的储层、区域盖层和石油充注系统的远景圈闭和油气藏。

笔者将成藏组合定义为相似地质背景下的一组远景圈闭或油气藏,它们在油气充注、储盖组合、圈闭类型、结构等方面具有一致性,共同烃源岩不是划分成藏组合的必须条件。

2 成藏组合与区带的区别

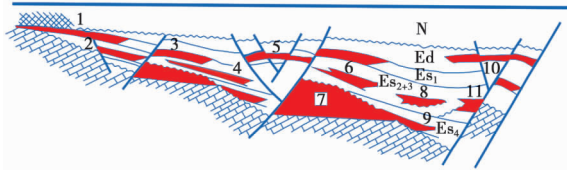
既然成藏组合是针对勘探部署提出的,而“区带”是国内大部分地质勘探家勘探部署的基本单元之一,在此有必要讨论成藏组合与“区带”之间的区别。

大部分西方地质学家在论及成藏组合时都不谈及油源问题,其基本意义是同一套储盖组合内的相同圈闭类型的组合。其命名方法是储层层位和圈闭类型,如滨里海盆地石炭系成藏组合、侏罗系构造圈闭成藏组合。成藏组合首先是属于特定的层位,即特定的储盖组合,其次是特定的圈闭类型,这里所说的储盖组合中的盖层指区域性盖层。

武守诚^[9]最早将“play”翻译为“区带”,他将区带分为构造型油气聚集带、非构造型油气聚集带及混合型油气聚集带 3 类。在实际应用中,区带被国内研究者赋予了更多平面划区的含义,通常是指盆地内某个平面空间位置所限定的区域,在纵向上可以包括好几个成藏组合(play),二级构造带、复式油气聚集带等单元都被纳入区带范畴。虽然成藏组合与区带的英文名称都是“play”,但是在中国,它们已明显成为两个不同的概念,如渤海湾的复式油气聚集带可以包括古潜山圈闭成藏组合、古近系沙河街组构造—断块圈闭成藏组合、古近系沙河街岩性地层圈闭成藏组合、新近系构造断块成藏组合等(图 1)。

但是上述成藏组合并不在每个油气聚集带中都有

分布,每个油气聚集带也不是都存在各种成藏组合,所以这是两种勘探单元的划分方法。成藏组合的划分方法是将盆地首先在纵向上根据储盖组合和圈闭类型进行划分,而区带划分法是首先按照平面的结构特点进行分割。问题在于那一种方法更加合理,更加符合油气分布的客观规律。中国地质学家在盆地评价时,也十分重视储盖组合,但是没有将它作为评价单元。



1—地层不整合(或沥青封闭)油气藏;2—断块油气藏;3—披覆构造油气藏;4—粒屑灰岩岩性油气藏;5—挤压构造油气藏;6—砂岩上倾尖灭油气藏;7—古潜山油气藏;8—透镜状砂岩岩性油气藏;9—地层超覆油气藏;10—逆牵引背斜油气藏;11—断层-岩性油气藏

图 1 断陷盆地油气藏分布模式^[10]
Fig. 1 The distribution model of oil and gas reservoir in rift basin^[10]

中国石油地质工作者自 20 世纪 50 年代以来就非常关注油气聚集带的研究,如对酒泉盆地老君庙—石油沟山前挤压背斜构造带的研究,发展到对松辽盆地大庆长垣式二级构造带的研究,以至渤海湾盆地复式油气聚集带理论的基本形成。中国区带研究在东部地区油气田勘探中积累了丰富的资料,复式油气聚集带就是属于同一构造带和岩相带,具有成因联系和相同的油气聚集史,形成以一种油气藏为主、其他类型为辅的多种类型油气藏的群体。这一群体是在纵向上相互叠加,平面上由不同层系、不同圈闭类型油气藏相互连片的含油带^[9]。由于中国东部复式油气聚集带具有多断层的地质特点,经过多年的勘探开发实践,已摸索出一套具有中国特色的滚动勘探开发经验,为加速中国石油天然气工业的发展,起到重要的推动作用。

中国地质家关于区带的概念,特别是复式油气聚集带的概念在指导渤海湾盆地的勘探中取得了巨大的成就,对渤海湾地区增加产量起到了决定性作用,是当时资料基础上非凡的理论创新。油气聚集带是油气的富集部位,基本上是不同的层位不同圈闭类型的油气藏叠合连片,探井的成功率很高。但是对区带内每个层位的圈闭往往不是特别的清楚,这与 20 世纪 70 年代初地震勘探水平较低是相一致的,资料条件限制了理论发展和应用。如辽河地区直到 1972 年才有多次地震覆盖,在此之前干扰波十分强烈,分辨率也不高,要认识每个层位的构造细节几乎是不可能的。

现在中国的地震勘探在渤海湾地区甚至可以分辨出几米厚的单砂体,按层系评价具有了技术条件,成藏组合理论应用也具有资料基础。成藏组合对于多储盖组合的盆地,特别是长期发育的继承性盆地和有多个原型盆地叠加的复杂盆地,其重要性及合理性是显而易见的,不同的储盖组合的油气聚集部位是不一致的,难以形成复式油气区带。

鄂尔多斯盆地作为长期继承性发育的案例。该盆地一共可以分为奥陶系风化壳潜山成藏组合、石炭一二叠系成藏组合、三叠系成藏组合和侏罗系成藏组合等4个成藏组合^[11]。加里东运动使鄂尔多斯盆地整体抬升,长期遭受风化剥蚀,导致奥陶系顶面形成准平原化的古岩溶地貌,同时石炭系底部的薄层铝土质泥岩为良好的盖层,位于区域斜坡上的天然气田形成主要由于奥陶系深切谷内沉积的铝土层的侧向封堵作用,其储盖组合构成奥陶系风化壳潜山成藏组合。对于石炭一二叠成藏组合,石炭系为泻湖相和潮坪相沉积,仅有少量碳酸盐岩沉积。中二叠世一晚二叠世发育内陆湖泊—三角洲沉积体系,大面积分布冲积扇、辫状河、网状河以及三角洲平原河道、三角洲前缘砂体,形成了盆地最重要的储集岩系之一。晚二叠世早期广泛沉积的上石盒子组河漫湖相泥岩形成了盆地上古生界气藏的区域盖层。鄂尔多斯盆地上古生界构造相对平缓,又是生气量大的煤系地层,储层岩性致密,具有形成深盆气藏的地质条件。同时,又具有区域性的气水倒置、盆地中部普遍含气及地层压力异常等特点,勘探实践表明,石炭一二叠成藏组合除具有丰富的常规天然气资源外还有大量的深盆气资源。对于三叠系成藏组合,上三叠统延长组属于大型三角洲及三角洲前缘砂体,在局部陡坡带发育堆积速度较快的河流相砂体和水下沉积砂体。三叠系储集体展布面积广,已成为鄂尔多斯盆地石油最主要的产层。储集层储集渗透条件依靠裂缝及浊沸石次生孔隙改善圈闭依靠压实改造,遮挡条件靠砂岩的侧变来实现。侏罗系成藏组合储层主要是发育在印支期侵蚀面上的古河道,其切割了延长组,使油源和储层相互连通,溢出古河道的油气也向延安组上部的砂岩体和古河床两侧的边滩砂体中运移,在侏罗系形成了大量的岩性圈闭,遮挡条件主要也是靠砂岩岩性的侧变来实现。奥陶系风化壳潜山成藏组合、石炭一二叠系成藏组合、三叠系成藏组合及侏罗系成藏组合的油气有利聚集位置完全没有相关性(图2),成藏机理也不同,如果不进行成藏组合的划分和评价则很难确定有利地区和进行勘探部署,长庆油田的勘探历程也证明了这一点。

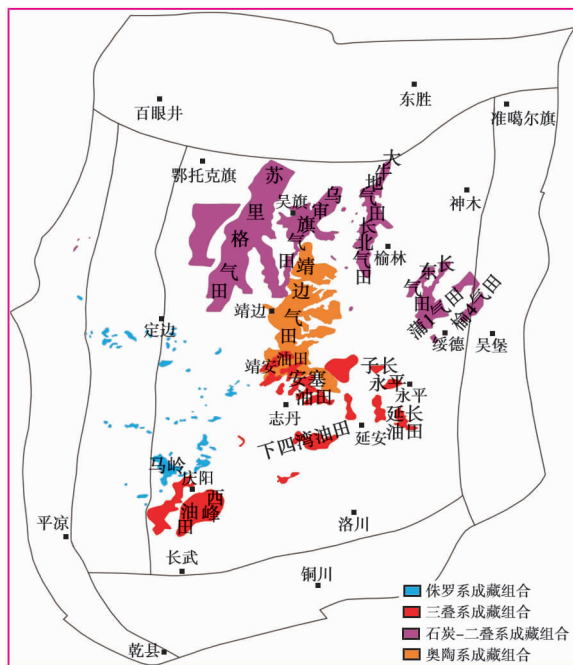


图2 鄂尔多斯盆地各成藏组合中油气田分布

Fig. 2 Oil & gas fields distribution of each play in Ordos Basin

3 成藏组合的研究内容

和含油气系统有所不同,成藏组合评价时更加重视的是储层性质、盖层和圈闭等要素(图3)。因此,储集层特征与储层质量预测、盖层封闭性能评价、断层封闭性评价、构造分析与圈闭评价及关键控制因素分析是成藏组合地质评价的主要内容。

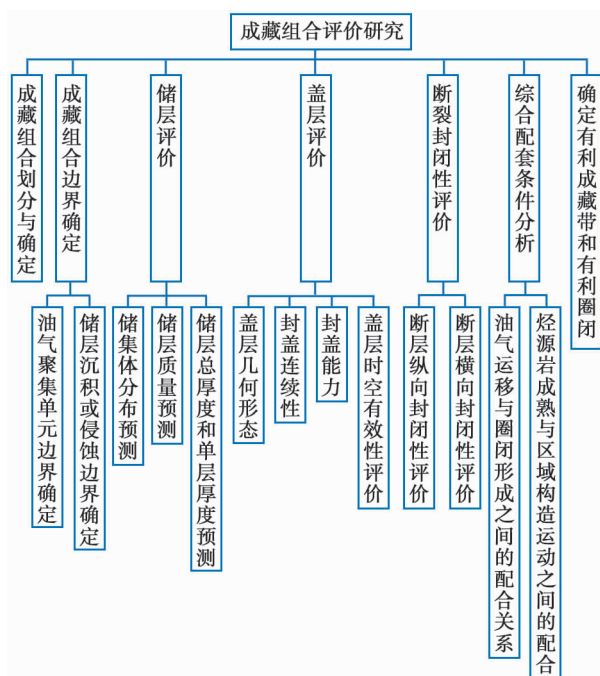


图 3 成藏组合评价主要内容

Fig. 3 The main contents of play evaluation

成藏组合划分在资料较少的情况下也可以进行,甚至只有一张综合柱状图即可以初步划分成藏组合。在勘探的初期,成藏组合划分不宜过细,通常以最重要区域盖层为界进行划分。

成藏组合的边界首先由油气聚集单元的边限定,再由储层单元的沉积或侵蚀边界确定,储层的总厚度和单层厚度越大,孔隙度和渗透率越大,该储层就越有价值。对于一个未经钻探的成藏组合,预测储层就是一项十分重要的内容。

成藏组合边界划定后首先需要对储层进行评价,其主要内容包括储集体分布预测、储层的总厚度和单层厚度预测及储层质量预测。层序地层学在储层评价中发挥的作用越来越大,体系域分析可以预测储层分布。地震横向预测技术可以做到精细储层厚度预测。另外还可以通过对盆地的构造环境和沉积相的研究,确定成藏组合所在的沉积相带。

盖层评价是成藏组合评价的另一项主要内容。主要涉及盖层的几何形态(如构造部位、厚度、岩性和空间展布);封盖连续性(如韧性、可压缩性、裂缝发育的机率);封盖能力(如在毛细管力和流体特征基础上,盖层封闭的烃柱);盖层的时空有效性评价和盖层的综合封闭能力评价与有利保存区评价等。

在断裂比较发育的地区,仅仅具备盖层还往往难以具备完善的封堵条件,断层在油气成藏中也发挥了巨大的作用。断层的封闭性评价主要是断层的横向和侧向封闭性进行相应的评价,确定断层在油气运移中发挥的作用。

在分析了储盖层和断层的封闭性之后,首先要编制主力成藏组合的顶面构造图,还要进行构造分析确定油气在各个历史时期的优势运移方向,同时通过圈闭样式、圈闭机理和圈闭配套史分析确定有利圈闭。

4 成藏组合快速分析技术在苏丹 Melut 盆地的应用

总体看来,成藏组合分析在低勘探程度盆地勘探方向的制定上存在非常大的优势。首先,新区资料通常比较匮乏,只有通过少量的地震和测井资料先对盆地内的主要成藏组合进行分析,确定以后的主攻方向。第二,海外区块的勘探期很短,需要在较短时间内发现尽可能多的储量。不可能要求有大量的资料进行详细的石油地质综合研究,只有在有限的时间内尽快确立勘探方向,找出储量,使油田尽快投入开发,争取尽可能好的效益。

4.1 Melut 盆地勘探历程

苏丹 Melut 盆地是中非裂谷系的第二大沉积盆

地,位于中非剪切带东端南侧,是中非剪切带斜向张裂作用诱导下发育的中—新生代陆内裂谷盆地,其形成、演化与非洲板块特别是中非剪切带密切相关,具有典型的被动裂谷特征^[12-15]。盆地呈北西窄、南东宽的楔形,向北西方向收敛,向南撒开,并延伸到埃塞俄比亚境内^[15]。1975—1985 年美国 Chevron 公司曾经对其进行勘探,钻 3 口探井中仅 1 口获得油流,油层薄、丰度低,不具有商业开采价值^[12]。之后陆续有一些小公司为试采小油田进行了零星作业,但勘探工作完全停滞。2000 年 11 月中国石油天然气集团公司进入该区块开始勘探,从而成为中国在海外最大的以完整盆地对象的风险勘探项目。

针对 Melut 盆地钻井资料少,成藏组合不明的难题,首先利用层序地层学、构造分析大致确定储层和盖层的发育层段,再利用测井信息,并结合少量的岩心资料综合评价盆地的储盖组合质量;结合烃源岩发育情况,确定盆地的成藏组合,并最终明确盆地的主力勘探层系。这项技术集成了层序地层学和构造分析确定主力储盖发育层段;常规测井储层评价来确定盆地的主力储层发育段的质量;测井盖层评价,利用测井方法分析泥岩的封盖能力,评价盆地盖层的发育情况;利用地震资料来进行运移通道和断层封闭性研究;并结合构造分析与圈闭分析及配套条件分析,最后根据生、储、盖在纵向上的配置关系确定盆地的主力成藏组合。采用这一技术,在勘探早期快速明确古近系 Yabus + Samma 组储层与 Adar 组盖层为盆地的主力成藏组合而不是白垩系,将勘探层系从白垩系转到古近系(图 4)。

4.2 储层条件

根据盆地内基于剖面的演化史分析得知晚白垩世—古新世盆地裂陷作用较弱,构造差异升降不明显,水体较浅。同时层序地层学分析表明,本期以辫状河三角洲沉积体在盆地缓坡上的推进为主要沉积作用,为盆地内主要储层形成期,同时由于水体能量较弱,因而砂体成熟度较低。

受盆地古构造地形控制,盆地缓坡带和构造调节带是碎屑物质向盆地搬运的物源区,大型储集砂体往往发育在这些部位,尤其是在盆地宽缓处,如盆地中部的沉积体系规模明显大于北部和南部。同时,白垩纪和古近纪的伸展方向和构造格局具有一定的继承性,物源区和沉积中心迁移性不大,造成了多套有利砂体在垂向上相互叠置,平面上分布相对集中的状况,并且岩体基本相似,其中古新世—始新世 Yabus 和 Samma 组上部被 Adar 组厚层泥岩所覆盖,同时 Melut 盆地晚白垩世末未发育完整的强裂陷旋回,因此不发育上

白垩统储盖组合,这就直接决定了最有利的勘探层系是 Adar 组盖层之下的古近系砂岩。同时,测井资料研究表明,Yabus 和 Samma 组单层厚度大,石英平均含量达到 80%以上,孔隙度约 25%,渗透率大于 $1\,000\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,是良好的储层,成为主力勘探层系。

4.3 盖层条件

成藏组合划分边界主要依据之一就是区域性盖层展布,而对于区域盖层在油气聚集中的重要作用,童晓光等^[16-17]曾给予充分的论述,区域性盖层识别与研究是成藏组合评价的重要内容之一。

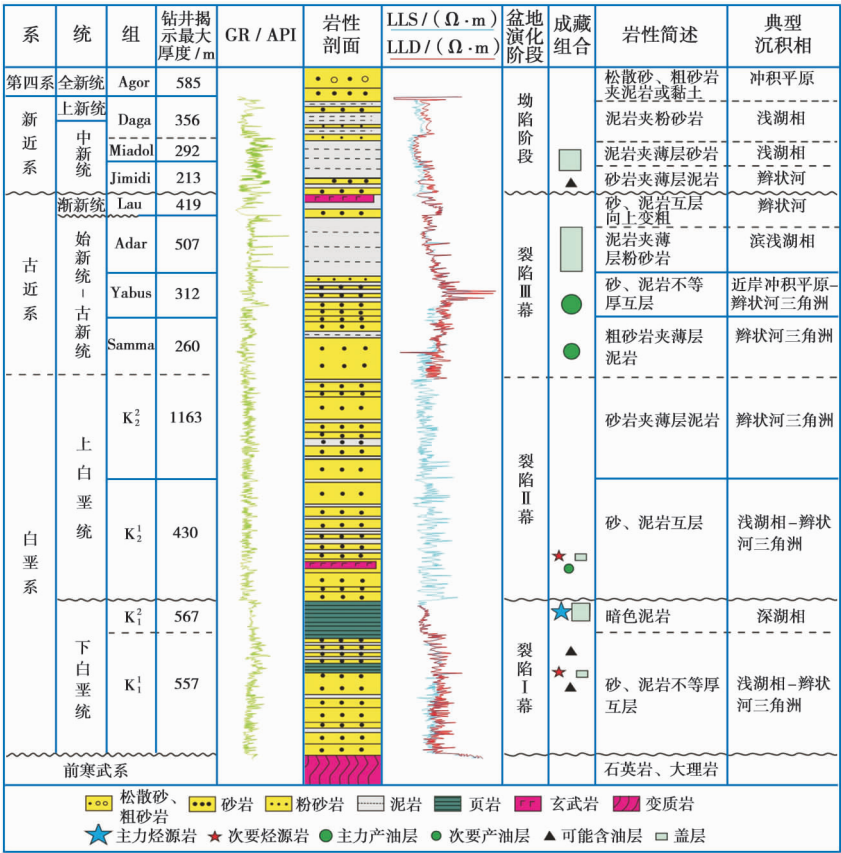


图 4 Melut 盆地综合柱状图及成藏组合

Fig. 4 Strata column and plays of Melut Basin

泥岩盖层测井评价内容主要有厚度、含砂量、总孔隙度、有效孔隙度、渗透率和排替压力等。众多研究者对测井泥岩盖层评价在很多地区做过研究,总体来讲,可以用自然电位、自然伽玛等常规测井手段来评价泥岩盖层^[18-20]。

始新世 Adar 组在 seismic 剖面上表现为大套空白—弱连续反射段,根据以往研究经验,应该为均一岩性的沉积。根据盆地已有的测井资料,并结合区域性构造演化剖面及层序地层学分析,得知该地层沉积时断层大量发育,同时先存断层持续活动,基底持续沉降,其是在水体能量和陆源补给减弱的大背景下广泛沉积的以悬浮沉积作用为主的浅湖相泥岩。根据层序地层学和自然电位等测井曲线确定泥岩盖层平均厚度为 300 m,根据自然电位和自然伽玛计算出泥地比为 80%以上,通过密度测井计算得知 Adar 组具有低孔隙度和低渗透率的特征,排替压力大,物性封闭条件优

越,同时处于欠压实状态,具备良好的欠压实封闭条件(图 4)。

4.4 运移通道和断层封闭性评价

由于 Melut 盆地上白垩统以砂岩为主,砂地比一般为 55%~83%,砂体横向连通性好,加上缺乏区域性的泥岩盖层,因此上白垩统并非有利的成藏组合,反而为油气大规模横向运移提供了良好通道。利用地震资料预测断层断距及断裂带内充填物泥质所占百分含量的分析方法^[21],证明盆地内大部分长期活动的生长断层封闭性普遍较差,长期持续活动的基底断层和调节断层控制了油气聚集,并为油气垂向运移提供了通道。占优势的控盆边界断层的持续生长活动使盆地发生翘倾作用,盆地斜坡带为油气区域性侧向运移的主要指向,这种斜向输导作用加上断层的垂向输导作用使油气向缓坡浅层进行大规模运移聚集。当油气被区域性盖层 Adar 组泥岩遮挡时,就会在其下伏的 Yabus

组和 Samma 组砂岩构造高部位聚集。后期的勘探表明,目前 90% 以上的储量均发现于位于凹陷缓坡位置上的 Adar 组盖层、Yabus 和 Samma 组储层的成藏组合中。

4.5 构造条件

受非洲—阿拉伯板块的北东向运动并开始俯冲到扎格罗斯-欧亚板块的影响^[22-23], Melut 盆地在始新世 Adar 组沉积时伸展走滑作用增强,裂陷作用使白垩系半地堑进一步复杂化,凹凸格局更为明显。大量的盖层断层发育,并形成大量的断块圈闭,走滑作用使凹陷及控凹断层斜列,形成区域性横向变换带和构造调节带,背斜、断背斜构造相应产生,在渐新世末,红海开始拉张产生了北东—南西向挤压环境^[23-24],盆地发生反转,强化了前期形成的断块和断背斜圈闭。

4.6 配套条件

中非裂谷系发育典型的被动裂谷盆地群,早期的火山岩不发育,盆地的地温梯度普遍偏低,后期火山活动逐渐增强,地温增高^[20],随着古近纪岩浆活动的增强和上覆地层厚度逐渐增大,下白垩统烃源岩于 Adar 组沉积末期才进入生油窗开始大量生油。同时结合渐新世末盆地发生的反转作用,前期形成的断块、断背斜圈闭进一步发育,区域性单斜背景下的圈闭形成与生排烃之间配合良好,位于 Adar 组区域盖层之下的 Yabus 和 Samma 组储层极易在合适的构造高部位形成油气聚集。

4.7 有利成藏带和圈闭

通过成藏组合分析,认为勘探初期应该以构造目标为主,渐新世盆地发生的反转运动对前期形成的断块、断背斜进一步强化,为油气运移指向提供了良好的聚集场所。对于陆内裂谷盆地,油气运移的主要方向是箕状凹陷的短轴方向,油气通常首先聚集在箕状凹陷低凸起上或者是箕状凹陷的缓坡断阶上,其次是陡坡断阶带。而由于 Melut 盆地基底以上沉积岩很少,储盖条件不好,不能成为有利成藏带,而主力凹陷的缓坡断阶带是最有利的成藏带。厚层的 Adar 组泥岩在断层两侧易于形成侧向封堵,因此位于斜坡的 Yabus 和 Samma 组构造高部位的断块、断背斜圈闭,成为优先选择的勘探目标。Palogue 构造是一个位于北部凹陷转折带上被断层复杂化的短轴背斜,其为西倾鼻状古隆起背景上长期形成发育的披覆背斜,具有构造规模大、主力产层埋藏浅等特点,是勘探初期古近系最现实和经济的钻探目标(图 5)。

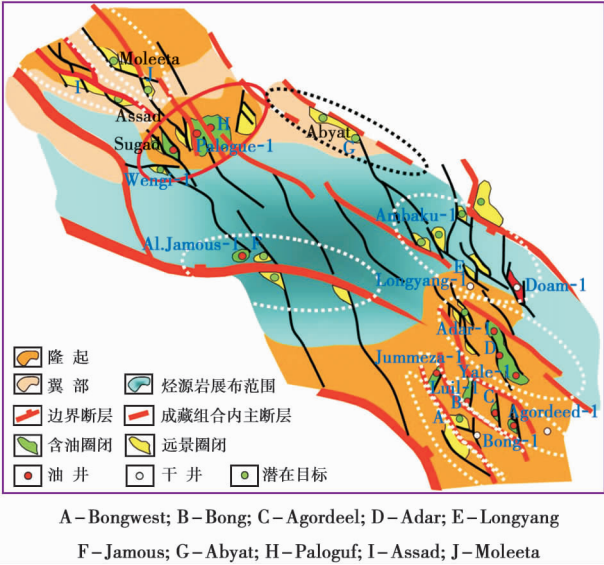


图 5 Melut 盆地北部次盆地主要成藏带
Fig. 5 The main plays in sub north-basin of Melut Basin

5 勘探效果分析

通过成藏组合快速分析技术及其他相关技术的应用,确定了 Yabus 和 Samma 组储层及 Adar 组盖层为盆地主力成藏组合,而位于斜坡上的构造高部位断块和断背斜是油气聚集的最有利部位(图 6),快速确定了勘探的主攻方向,成功发现世界级 Palogue 大油田,新增探明地质储量为 $5.14 \times 10^8 \text{ t}$,可采储量为 $1.33 \times 10^8 \text{ t}$,是中国石油跨国勘探近 10 年来在海外发现的最大整装油田。

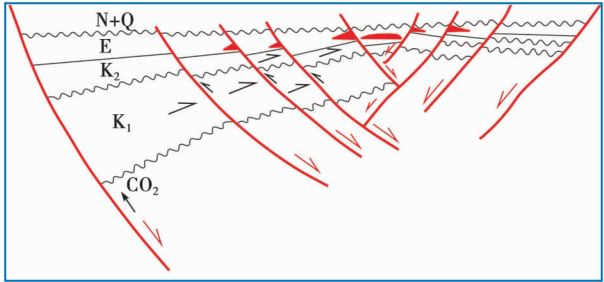


图 6 Melut 盆地 Palogue 油田剖面^[23]
Fig. 6 The profile of Palogue Oilfield in Melut Basin

6 结 论

(1) 在地震资料分辨率保证的前提下,成藏组合快速分析技术改变了国内盆地勘探初期以纵向上划分区带为主,后期勘探再分层评价的传统做法,勘探初期即以纵向储盖组合及圈闭特征出发,划分不同的成藏组合,再在不同成藏组合内通过平面分带寻找有利成藏带和圈闭,更能反映油气的分布规律。

(2) 在已经确定油源基础的前提下,低勘探程度盆地成藏组合研究的重点是储层的评价、盖层封闭性能评价、断层封闭性评价、构造分析与圈闭评价及关键控制因素分析等。

(3) 成藏组合快速分析技术在低勘探程度盆地应用时具有需要资料少、过程分析简单等特点,只需要较少的地震和测井资料,并综合运用构造分析技术和层序地层学分析技术,就可在很短的时间内确定盆地主力成藏组合,确定勘探方向。

(4) 成藏组合快速分析技术在苏丹低勘探程度 Melut 盆地应用较为成功,在低勘探程度地区快速勘探决策中优势明显,具有很好的推广应用价值。

参 考 文 献

- [1] Miller B M. Application of exploration play-analysis techniques to the assessment of conventional petroleum resources by the U. S[J]. Geological Survey, 1982, 47(1): 101-109.
- [2] White D A. Assessing oil and gas plays in faces-cycle wedges[J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(8): 1158-1178.
- [3] White D A. Oil and gas play maps in exploration and assessment [J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(8): 944-949.
- [4] Crovelli R A. Probability theory versus simulation of petroleum potential in play analysis[J]. Annals of Operations Research, 1987, 8(1): 363-381.
- [5] Parsley A J. North Sea hydrocarbon plays[M]//Glennie K W. Introduction to the petroleum geology of the North Sea. London: Blackwell Scientific Publishing, 1983: 205-209.
- [6] Podruski J A, Fitzgerald-Moore P. Conventional oil resources of western Canada(light and medium)[R]. Geology Survey of Canada, 1988: 58-72.
- [7] Lee P J, Gill D. Comparison of discovery process methods for estimating undiscovered resources[J]. Bulletin of Canada Petroleum Geology, 1990, 47(1): 19-30.
- [8] Allen P A, Allen J P. Basin analysis: Principles and applications [M]. London: Blackwell Scientific Publishing, 1990: 1-451.
- [9] 武守诚. 石油资源地质评价导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 126-127.
Wu Shoucheng. Petroleum resources assessment introduction [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 126-127.
- [10] 胡见义, 徐树宝, 童晓光. 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.
Hu Jianyi, Xu Shubao, Tong Xiaoguang. Formation and distribution of complex petroleum accumulation zones in Bohai Wan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1986, 13(1): 1-8.
- [11] 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: 12-130.
Tong Xiaoguang, He Dengfa. The principle and method of oil and gas exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 12-130.
- [12] McHargue T R, Heidrick T L, Livingston J E. Tectonostatic graphic development of the interior Sudan rifts, Central Africa [J]. Tectonophysics, 1992, 213(1/2): 187-202.
- [13] Genik G J. Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad and Central African Republic[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(8): 1405-1434.
- [14] Schull T J. Rift basins of interior Sudan: Petroleum exploration and discovery[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1128-1142.
- [15] Patton T L, Moustafa A R, Nelson R A, et al. Tectonic evolution and structural setting of the Suez Rift[G]//Landon S M. Interior rift basins; Tulsa, OK. AAPG Memoir 59, 1994: 9-55.
- [16] 童晓光, 牛嘉玉. 区域盖层在油气聚集中的作用[J]. 石油勘探与开发, 1989, 16(4): 1-7.
Tong Xiaoguang, Niu Jiayu. Effects of regional cap formation on oil and gas accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 1989, 16(4): 1-7.
- [17] 窦立荣, 张志伟, 程顶胜. 苏丹 Muglad 盆地区域盖层对油藏特征的控制作用[J]. 石油学报, 2006, 27(3): 22-26.
Dou Lirong, Zhang Zhiwei, Cheng Dingsheng. Regional seal control on oil accumulation in Muglad Basin of Sudan[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 22-26.
- [18] 焦翠华, 谷云飞. 测井资料在盖层评价中的应用[J]. 测井技术, 2004, 28(1): 45-47.
Jiao Cuihua, Gu Yunfei. Application of log data in evaluating caprocks[J]. Well Logging Technology, 2004, 28(1): 45-47.
- [19] 付广, 姜振学, 庞雄奇. 盖层烃浓度封闭能力评价方法探讨[J]. 石油学报, 1997, 18(1): 39-43.
Fu Guang, Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi. An estimation of sealing ability of hydrocarbon concentration of cap rocks[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(1): 39-43.
- [20] 谭增驹, 刘洪亮, 黄晓冬, 等. 应用测井资料评价吐哈盆地盖层物性封闭[J]. 测井技术, 2004, 28(1): 41-44.
Tan Zengju, Liu Hongliang, Huang Xiaodong, et al. Evaluation of trap properties of capping peds in Tuha Basin using log data[J]. Well Logging Technology, 2004, 28(1): 41-44.
- [21] 吕延防, 沙子莹, 付晓飞, 等. 断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34-38.
Lü Yanfang, Sha Zixuan, Fu Xiaofei, et al. Quantitative evaluation method for fault vertical sealing ability and its application [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 34-38.
- [22] Browne S E, Fairhead J D. Gravity study of the Central Africa Rift system: A model of continental disruption 1. The Ngaoundere and Abu Gabra Rifts [J]. Tectonophysics, 1983, 94(1/4): 187-203.
- [23] Bermingham P M, Fairhead J D, Stuart G W. Gravity study of the Central African Rift system: A model of continental disruption 2. The Darfur domal uplift and associated Cainozoic volcanism[J]. Tectonophysics, 1983, 94(1/4): 205-222.
- [24] 童晓光, 徐志强, 史卜庆, 等. 苏丹迈卢特盆地石油地质特征及成藏模式[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 1-5.
Tong Xiaoguang, Xu Zhiqiang, Shi Buqing, et al. Petroleum geologic property and reservoir-forming pattern of Melut Basin in Sudan[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 1-5.