

文章编号: 1000-0747(2004)02-0005-09

富油气凹陷“满凹含油”论

——内涵与意义

赵文智, 邹才能, 汪泽成, 李建忠, 李明, 牛嘉玉

(中国石油勘探开发研究院)

摘要: 富油气凹陷指陆相沉积盆地中烃源岩质量好、规模大、热演化适度与生烃量和聚集量都位居前列的含油气凹陷。富油气凹陷形成“满凹含油”的条件是:①烃源岩生烃总量大,可保证各类砂体聚油成藏;②有效烃源岩面积大,为各类砂体与烃源岩提供最大接触机会,有利于油气运聚成藏;③湖盆振荡变化使砂、泥岩频繁间互,为各类岩性-地层圈闭形成创造条件。富油气凹陷呈满凹分布的岩性-地层油气藏的形成主要受最大湖泛面、不整合面与断层面的控制,油气在有利沉积相带、岩性或地层尖灭带、沉积阶段古地形坡折带、裂缝带与次生孔隙发育带相对富集,“甜点”则位于斜坡背景上发育的主砂体以及有裂缝和鼻状隆起背景参与成藏的各类砂体中。富油气凹陷“满凹含油”论的提出是对“源控论”与“复式油气聚集”理论的发展,可使油气勘探跳出二级构造带范围,实现满凹勘探,大规模拓展勘探范围。图8表2参15

关键词: 富油气凹陷;满凹含油论;岩性-地层油气藏;形成条件;“甜点”

中图分类号: P631

文献标识码: A

0 引言

陆相石油地质理论的核心要点可以概括为陆相生油论、源控论与复式油气聚集理论^[1]。石油勘探家基于“源控论”得出了勘探找油的“定凹选带”认识;基于陆相生油理论拓展了勘探范围,并进一步引伸提出了煤成油的认识;基于复式油气聚集理论,总结了断陷、坳陷盆地油气分布的基本规律,并通过以划分评价二级构造带为核心的综合研究,有效地指导了勘探实践。

随着勘探的深入,尤其是一系列岩性-地层油气藏的发现,人们注意到陆相沉积盆地中很多油气藏分布在生烃凹陷的低部位,甚至是向斜的中心部位,用二级构造带的划分标准很难包括在内。本文作者在“富油气凹陷”概念的启迪下,提出富油气凹陷“满凹含油”的观点,即陆相盆地中有一类凹陷的油气分布已经超越了二级构造带的范围。提出这一观点,旨在强调勘探找油气要跳出二级构造带的范围,拓展到全凹陷。为论证这一观点的客观性,本文重点讨论富油气凹陷“满凹含油”的形成条件、内涵及其在指导深化勘探中的意义。

1 富油气凹陷“满凹含油”的概念与内涵

1.1 “富油气凹陷”概念

早在20世纪50~60年代,在我国东部地区油气勘探实践中提出了生油凹陷控制油气分布的认识,即后来的“源控论”^[2],对指导发现油气田发挥了重要作用。随着勘探程度提高以及地质认识的深入,油气地

质工作者认识到不同凹陷中的油气资源分布是不均衡的,于是又产生了“富生烃凹陷”^[3]、“富油气凹陷”^[4,5]的概念。龚再升等^[3]提出的“富生烃凹陷”强调生油气凹陷成因和生烃量,指出富生烃凹陷是被动热事件初期形成的半地堑,一般为陆相沉积,湖相生油,烃源岩生烃强度大于50万t/km³,油气资源丰度一般大于15万t/km²。袁选俊、谯汉生^[5]等在研究渤海湾盆地油气资源分布的基础上,将资源丰度大于20万t/km²、资源规模在3亿t以上的凹陷称为“富油气凹陷”,强调资源丰度以及勘探潜力。可见,富油气凹陷是从一个凹陷的生烃总量出发,表述凹陷资源丰富程度的概念,源自对东部裂谷盆地的研究。其内涵强调凹陷的烃源岩质量、规模、热演化程度及生、排烃总量。这一概念指出了资源空间分布的不均衡性,对陆相沉积盆地中一系列凹陷进行了分级评价,对指导选择重点勘探靶区有重要意义。

其实,除东部裂谷盆地之外,陆相坳陷盆地(包括前陆盆地)也存在富油气凹陷,控制相应盆地中生烃与油气藏的分布。因此,从广义角度,富油气凹陷是指陆相沉积盆地中那种烃源岩质量好、规模大、热演化适度与生烃量和聚集量都位居前列的一类含油气凹陷。衡量富油气凹陷的优劣,除生烃强度、资源丰度和资源总量外,还应考虑在整个凹陷范围内发现油气藏的机会与单体油气藏的丰度和规模。

1.2 富油气凹陷“满凹含油”论的概念与内涵

富油气凹陷“满凹含油”论观点的提出得益于最近

几年岩性-地层油气藏勘探的突破,尤其是近3年来,东部探区立足于富油气凹陷的精细勘探,揭示了在二级构造带以外的斜坡区以及深凹陷部位都有油气藏分布,油气藏类型以岩性-地层型为主,呈现满凹含油的趋势。

例如,近几年一系列勘探发现揭示,松辽盆地南部的长岭凹陷区具有满凹含油的特点(见图1)。长岭凹陷位于松辽盆地中央坳陷区的南部,北与古龙凹陷相连,东与大庆长垣-扶新隆起相接,西以大安阶地为界与西部斜坡过渡,整体呈近南北向延展的向斜,小断距(一般小于50m)断层非常发育。在凹陷区已发现油田8个,累计发现三级储量超过2亿t,包括储量规模超亿吨的大情字井油田,凹陷的高部位、斜坡甚至向斜中都有油藏分布(见图2a)。如在长岭凹陷西部斜坡发现的花17井、花24井、黑135井、乾177井与凹陷东部及北部乾183井、乾170井获高产油流,显示出油气成藏已经超越了正向二级构造带范围。位于黑帝庙凹陷中心区的黑100井最近在姚家组葡萄花油层获日产10.2t的油流,更说明具有满凹含油的特征(见图2b);古龙凹陷向斜低部位的古11井也在葡萄花油层获得了日产6m³的油流。

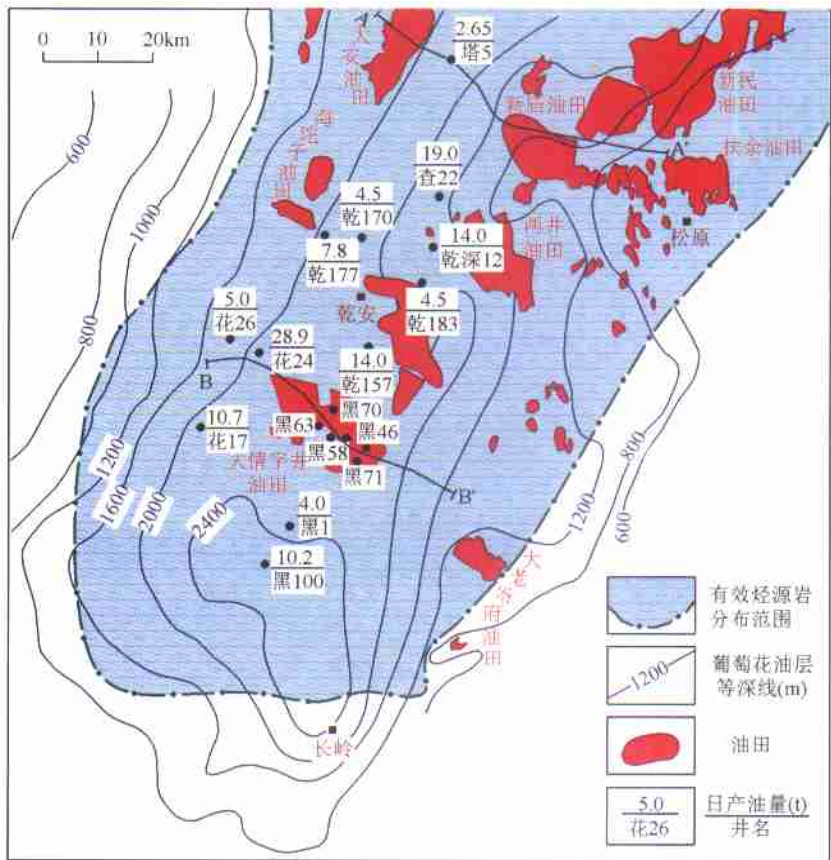
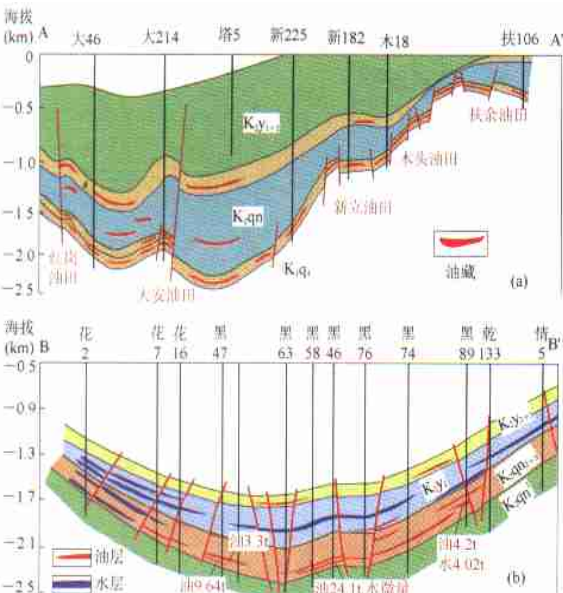


图1 松辽盆地南部长岭凹陷勘探成果图

中心,近年来针对长3、长4+5以及长8层位的勘探均取得良好效果。渤海湾盆地在多个凹陷的深部位发现了一系列岩性油气藏,如南堡凹陷在高一柳构造带低部位的沙三段和沙一段扇体中获高产油气流。

“满凹含油”是指在富油气凹陷内,优质烃源灶提供了丰富的油气资源,同时陆相沉积多水系与频繁的湖盆振荡,导致湖水大面积收缩与扩张,使砂体与烃源岩不仅间互,而且大面积接触,从而使得各类储集体有最大的成藏机会,因而含油范围超出二级构造带,并在包括斜坡区的凹陷深部位都有油气藏的形成和分布,呈现整个凹陷都有油气成藏的局面。“满凹含油”论并不意味着在凹陷的每一个部位都可以发现油气藏,而在于强调勘探理念的变化。“满凹含油”论的提出使勘探领域跳出了“二级构造带”范围,可以实现满凹陷勘探。勘探范围不仅包括已有的正向二级构造带,也包括广大的斜坡区和凹陷的低部位。

与“满凹含油”论相对应,还有一个油气资源经济性问题,即富油气凹陷并不是所有的油气聚集都有经济性,油气聚集的丰度和品位有较大变化。这就涉及到优质油气资源分布的主控因素与分布规律问题。实际上,在确立富油气凹陷“满凹含油”观的前提下,优质油气资



(示“向斜”深部位岩性油藏分布,剖面位置见图1.)

图2 长岭凹陷东西向油藏剖面

鄂尔多斯盆地白豹地区位于延长组沉积期的湖盆

源的分布也是有规律可循的,笔者将在后文讨论。

2 富油气凹陷“满凹含油”的形成条件

2.1 烃源岩生烃总量大,可保证各类砂体聚油成藏

如前述,富油气凹陷发育陆相沉积盆地中最优质的烃源岩,表现为烃源岩质量好、规模大、热演化适度与生烃总量大,可保证与之相关的各类储集体聚油成藏。

东部断陷盆地主要表现为幕式拉张活动,沉积充填主要受控于沉降速率。优质烃源岩主要发育在强烈的裂陷期^[9],由于构造沉降强烈,湖水较深,沉降速率大于沉积物供给速率,欠补偿沉积湖泊的营养和浮游生物生产力都达到较高水平^[7],因此,深湖一半深湖沉积物形成于良好的富氢有机质堆积环境,发育的烃源岩有机质类型多以Ⅰ—Ⅱ型为主。龚再升等^[3]在研究近海湖盆时指出,当裂陷期沉降速率在 200~400m/Ma 时,湖盆发育达到鼎盛期,是烃源岩发育的重要时期。湖盆最大扩张期的沉积主要是厚度较大的深湖一半深湖泥岩,如渤海湾盆地歧口凹陷沙三段深灰色泥岩厚度超过 1500m,有机质类型以Ⅰ—Ⅱ型为主;辽河西部凹陷的 E_{2s3}和 E_{2s4}烃源岩累计厚度超过 500m,有机质类型主要为Ⅰ型,据最新分析资料,辽河西部凹陷总生烃量为 235.49 亿 t,石油资源量为 26.6 亿 t,运聚系数高达 10.06%,生烃强度达 0.071 亿 t/km²,分别是东部凹陷和大民屯凹陷的 26 倍及 11 倍。

大型坳陷湖盆构造相对稳定,以发育统一的湖盆沉积为特征,湖平面升降是控制沉积环境与相带组合的主导因素。湖盆扩张期的湖侵范围很广,湖泊中心部位常常发育优质烃源岩。如鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组长 7 段沉积期是最大湖侵期,深湖一半深湖相泥岩烃源岩面积达 8.5 万 km²^[8],占同期湖盆面积的 60%,有机质类型多以Ⅰ—Ⅱ型为主,有机碳平均含量为 2.17%,盆地中心吴旗一带烃源岩厚 100m 以上,向盆地边缘减薄,在靖边—子长—延安一线为 30m 左右。松辽盆地主要烃源岩发育在青山口组青一段,是暗色泥岩,除在盆地边部如滨北地区砂岩含量较高外,在中央坳陷区几乎全部分布,烃源岩厚 60~80m,有机碳含量平均为 2.207%,有机质类型多以Ⅰ—Ⅱ型干酪根为主,有效烃源岩面积达 6.5 万 km²,占湖盆总面积的 53%。

中西部地区发育的前陆盆地处在盆山结合部位,有最深的汇水,发育优质烃源岩,有机质丰度高,烃源岩厚度大^[9,10]。尤其是晚三叠世一早、中侏罗世气候潮湿,形成的前陆盆地如库车坳陷、川西坳陷、鄂尔多斯盆地西缘与准噶尔盆地南缘等均发育优质烃源岩。库车坳陷侏罗系总有机碳含量一般大于 1.0%,主要为 2.5%~4.0%,三叠系总有机碳含量主要为 2.0%~

3.0%^[11],烃源岩厚 100~800m,有效烃源岩面积 1.6 万 km²,占同期湖盆面积的 53%。

由此可见,富油气凹陷发育在不同类型的陆相沉积盆地中,发育优质烃源岩,可为与之有联系的各类砂体提供充足的油源。

2.2 有效烃源岩面积大,为各类砂体与烃源岩提供最大接触机会,有利于油气运聚成藏。

有效烃源岩是已进入成熟门限大量生、排烃的那部分烃源岩。富油气凹陷不仅烃源岩质量好,规模大,而且有效烃源岩所占比例很高,因而使成藏范围和规模较大。统计数值表明,我国主要含油气盆地中的富油气凹陷有效烃源岩面积占同期湖盆面积的比例均超过 50%(见表 1),明显高于一般的陆相沉积凹陷。

表 1 主要富油气凹陷烃源岩面积与凹陷面积统计表

富油气凹陷名称	层位	有效烃源岩面积(km ²)	凹陷面积(km ²)	有效烃源岩面积占凹陷面积比例(%)
东营凹陷	E	3 970	5 700	69
沾化凹陷	E	1 450	2 800	55
辽河西部凹陷	E _{s3}	1 690	2 560	66
歧口凹陷	E _{s3}	2 380	3 835	62
南皮凹陷	E _{2k}	1 165	1 455	80
板桥凹陷	E _{s3}	749	971	77
松辽盆地	K ₂	64 900	122 000	53
鄂尔多斯盆地	T ₃	85 000	140 000	60
准噶尔盆地	P	41 600	80 000	51

由于有效烃源岩面积占凹陷面积比例大,来自不同方向的水系形成的各类砂体有较大机会与烃源岩接触。在渤海湾盆地的富油气凹陷中,主水系砂体与烃源岩接触的面积高达 80%以上;坳陷湖盆这一比值相对要低,但不同水系发育规模不一,比值也有所不同(见表 2)。

表 2 富油气凹陷中主水系砂体与烃源岩接触面积统计表

盆地 (凹陷)	水系与层位		砂体 面积 (km ²)	与烃源岩 接触面积 (km ²)	与烃源岩接触的 砂体面积 比例(%)
辽河 坳陷	齐家	Es ₁₊₂	316	306	96.8
		Es ₃	345	280	81.2
	西八千	Es ₁₊₂	405	357	88.1
		Es ₃	350	300	85.7
	兴冷	Es ₁₊₂	303	293	96.7
		Es ₃	225	215	95.6
鄂尔多 斯盆地	北部三角洲	T _{3y}	58 000	37 000	63.8
	西南三角洲	T _{3y}	20 000	13 500	67.5
松辽 盆地	保乾三角洲	K _{2qn₃}	12 000	5 600	46.7
		K _{2qn₂}	18 000	8 700	48.0
		K _{2qn₄}	36 000	19 000	52.7
	英台三角洲	K _{2q}	4 500	2 500	55.6
	北部三角洲	K _{2q}	44 000	23 000	52.3

保乾水系发育在松辽盆地西南部,以三角洲沉积体系为主体,呈北东向伸入长岭凹陷(见图3)。该水系在泉头组—嫩江组沉积期长期发育,水系规模随着湖侵和湖退发生变化(见表2)。

泉头组沉积时期水系规模最大,即使在湖侵最大期的泉四段沉积期,水系规模也有3.6万km²,三角洲前缘砂体分布面积近2万km²,与烃源岩接触面积高达52.7%。青山口组沉积期,保乾三角洲砂体演化有三个主要特点:①物源方向总体由西南向西北方向逐步迁移;②三角洲发育经历了退积、加积和大规模迁移三大过程,前缘朵状体由深湖型朵叶体转变为浅湖型树枝状体;③青三段沉积晚期,来自通榆水系三角洲前缘砂体与保乾水系的三角洲前缘砂体在乾安一带叠加连片,形成大面积以分流河道和河口坝为主体的砂体,重点含油层段是青山口组二段、三段砂体,与有效烃源岩的接触面积比值高达40%~60%,使得该水系发育的各类砂体有充足的油源供给,并聚集成藏。该区岩性油藏成藏的特点是:①含油层系多,以青山口组为主;②微相控制着单砂体分布与岩性圈闭位置和规模;③最有利的储集体为三角洲前缘分流河道和河口坝砂体;④多个含油砂体叠加连片形成连片含油面貌。随着勘探的深入,大情字井和乾安油田有连片趋势,可形成3亿t以上规模的超大型岩性油藏区。

2.3 湖盆振荡变化,使砂、泥岩频繁间互,为各类岩性地层圈闭形成创造条件

陆相沉积盆地受构造与气候的联合作用,湖盆的水进、水退频繁发生。低位域和高位域沉积期,砂体相对发育。有时来自盆地四周的水系向盆地注入,可以使砂体几乎覆盖全凹陷;而最大湖侵期由于湖盆扩张,砂体退缩,烃源岩可以扩及很大范围,构成剖面上生储盖组合(见图4)。伴随着湖盆振荡变化,这样的组合在剖面上还可重复多次。同时,多水系形成的砂体横向上岩性变化快,不仅使烃源岩与储集体大面积接触,而

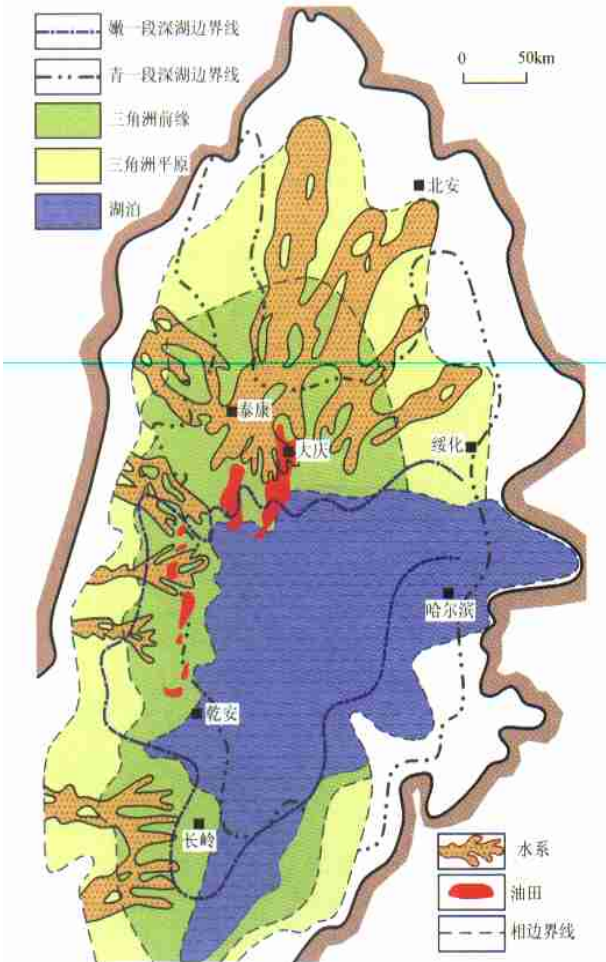


图3 松辽盆地姚家组二、三段沉积体系展布图

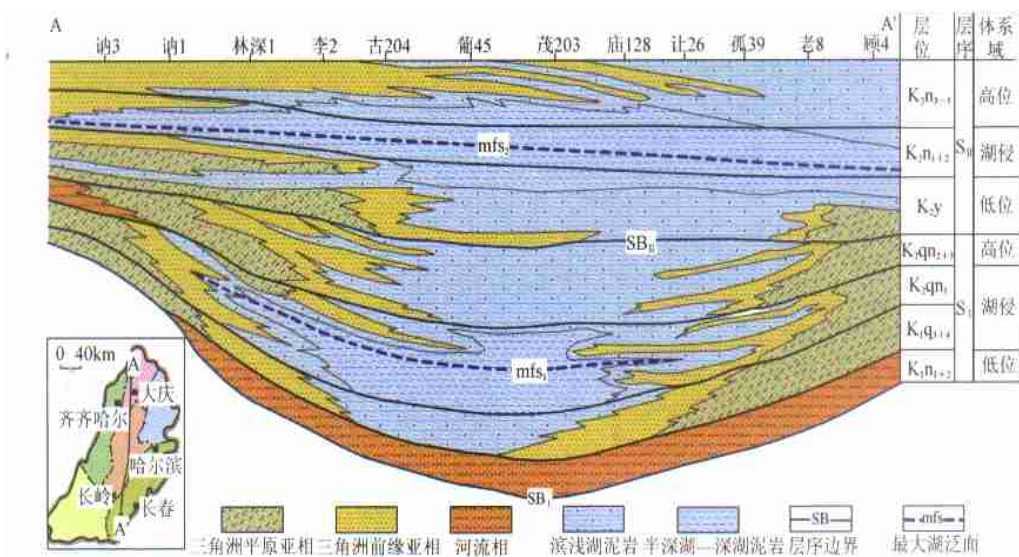


图4 松辽盆地南北向层序地层格架剖面

且因岩性侧向变化极易形成多种类型的岩性圈闭。由图 4 可见, 在有些时间段, 烃源岩的扩展范围与砂体向湖盆中心的推进规模均较大, 从而使油源岩与储集层间互, 这是满凹连片含油的基础。

断陷湖盆多物源、短水系, 碎屑物质入湖快速, 砂体与湖相泥岩接触机会和面积均较大。陡坡有冲积扇直接进入湖, 形成近岸水下扇等重力流沉积; 缓坡发育河流—三角洲与滨湖砂坝等砂体; 湖盆中心又有浊积砂体。这些砂体侧向与烃源岩接触, 上下往往被烃源岩包围, 构成良好的生储盖配置组合, 可形成各类岩性油气藏。坳陷湖盆沉积相带多呈环带状分布, 沿湖盆长轴方向往往发育大型曲流河三角洲, 短轴方向则形成辫状三角洲。一系列三角洲前缘砂体呈带状或席状叠置于烃源岩之上或夹于烃源岩系中, 可形成连片分布的含油层系, 如松辽盆地上白垩统青山口组发育六大三角洲体系, 在 8 万 km^2 范围内都有砂体分布, 并与烃源岩间互。鄂尔多斯盆地延长组发育南、北两大主水系, 北岸水系以发育曲流河三角洲为主, 北东向展布, 延伸长度达到 300km; 南岸水系以辫状河三角洲为主, 北东向展布, 延伸长度 150km^[8]。这两大水系形成的长 6 段前缘相带与长 7 段烃源岩的接触面积达 5.6 万 km^2 , 占有有效烃源岩分布面积的 82% 以上。

3 富油气凹陷“满凹含油”的基本特征

3.1 经济资源受主砂体、裂缝与鼻状构造控制

前已述及, 富油气凹陷“满凹含油”论既强调在有效烃源岩范围内的任何部位都可能发现油气聚集, 即油气藏的形成并不局限于正向二级构造带范围内, 也强调并非所有的油气聚集都有经济性。因此, 要确保跳出正向二级构造带进入凹陷区的油气勘探有较好的经济回报, 还需要特别关注经济资源的主控因素和分布规律。

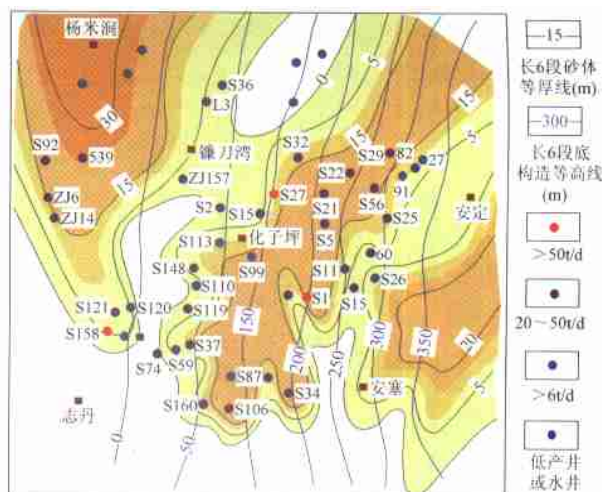
跳出二级构造带进入向斜区的油气勘探主要发现的是岩性-地层型油气藏。这类油气藏的特点是: ① 单体规模不大, 但多个油藏错列叠置, 可以形成大面积连片的油藏复合体; ② 单个油藏油柱高度不大, 油水系统多, 但油藏复合体范围内总的油层厚度不小; ③ 油层总体平缓, 油水分异不彻底。因此, 单井原油产量总体偏低。例如鄂尔多斯盆地志靖—安塞地区所发现延长组长 6 段和长 2+3 段的岩性油藏, 对 3577 口井统计, 在无压裂措施情况下单井日产量一般小于 2t, 实施压裂措施后单井平均日产量达到 3.2t; 松辽盆地大庆长垣两侧凹陷区的岩性油藏, 在无改造措施情况下单井日产量一般小于 4t, 储量丰度平均 20 万 ~ 40 万 t/km^2 , 百

万吨产能建设投入较高, 经济效益受到影响。

根据近几年对岩性-地层油气藏油气富集与分布特征的研究, 发现在呈席状分布的砂体中, 主砂带、裂缝发育带以及鼻状构造背景配位的各类储集体可使低丰度聚集的大面积岩性-地层油气藏“贫中有富”, 国外称之为“甜点”(sweet point)。很显然, 在特定探区, 如果能对上述三类岩性-地层油气藏分布的规律有客观认识, 对提高岩性-地层油气藏探明储量的动用率和勘探效益都是十分重要的。

以下三例可以说明“甜点”对岩性-地层油气藏中经济资源的控制作用。

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组的石油聚集是典型的岩性油藏。对安塞地区长 6 段砂体与单井原油产量对应关系的研究显示, 三角洲前缘水下分流河道主体部位的单井产量明显高于主砂带之间的井。笔者认为, 这是主砂带控制石油聚集“甜点”的实例。此外, 研究表明, 受基底断裂“隐性”活动的作用, 该区还发育北东向的裂缝系统, 不仅对主砂带有控制作用, 而且在砂体中产生裂缝, 对石油的富集和产量的提高均有作用^[8]。由图 5 可见, 主砂带砂层组厚度一般为 25 ~ 35m, 单砂层厚度也比较大, 单井日产量一般大于 15t, 最高超过 50t。而主砂带以外或之间单井日产量一般小于 6t。



裂系统关系密切,而与主砂体的关系相对较弱,是裂缝系统控制岩性-地层型油气藏聚集“甜点”的典型实例之一。

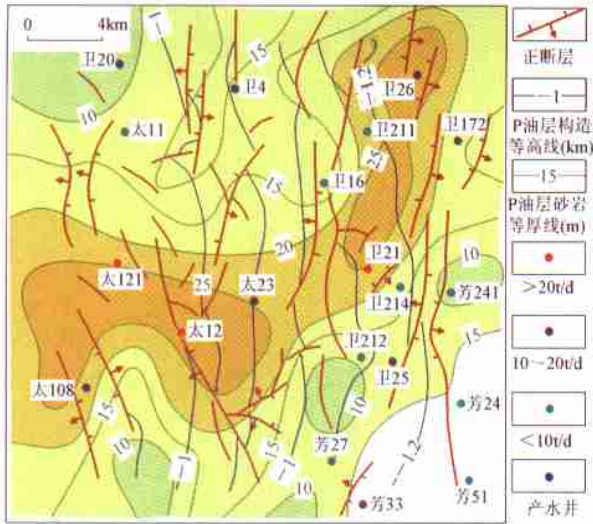


图6 松辽盆地太卫地区裂缝发育带与石油产量关系

大庆长垣西侧葡萄花构造是伸向古龙凹陷的大型鼻状隆起,葡西油田位于其西侧,发育有葡萄花(P)和黑帝庙(H)两套油层,是受西部和北部水系控制形成的三角洲前缘分流河道相砂体,油层埋深小于1500m。该区是典型的构造背景上的岩性油藏,目前已提交探明储量6559万t。统计显示,鼻状构造的主体部位储量丰度明显较高,可达50万~60万t/km²,储量可动用程度和效益均较高,而鼻状构造以外储量丰度明显降低,说明鼻状构造背景对石油富集发挥了重要作用(见图7)。

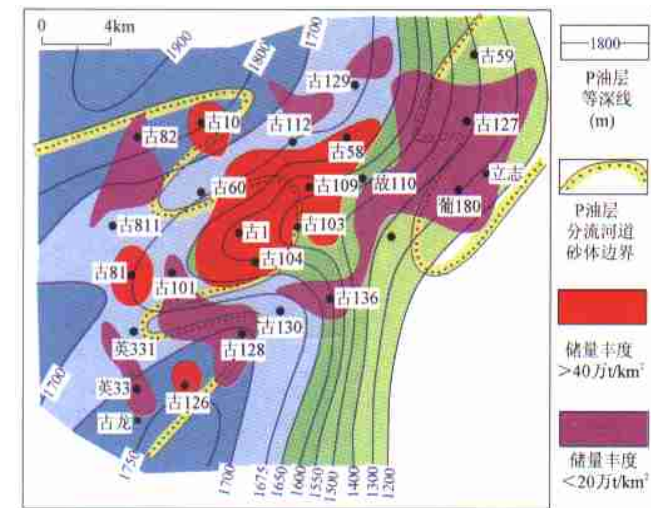


图7 葡西油田葡萄花和黑帝庙油层储量丰度与鼻状构造关系

综上所述,虽然陆相沉积盆地中的富油气凹陷可以在有效烃源岩范围内的任何部位形成油气聚集,但相对经济高效储量的形成则有一定条件。前述主砂

体、与砂体配位的裂缝系统以及鼻状构造背景都对油气的相对富集高产有控制作用。作好上述三要素空间吻合关系与分布特征的研究,对加快岩性油气资源的发现节奏和提高勘探效益均有帮助。

3.2 岩性-地层油气藏往往受“三面”控制,有“五带”富集特征

陆相沉积盆地多物源、多水系与湖盆振荡导致湖水大范围的收缩与扩展,使岩性、岩相在三维空间频繁变化,易形成岩性-地层型圈闭,这是富油气凹陷得以满凹含油的重要条件。因此,对岩性-地层油气藏分布特征的总结有益于指导跳出正向二级构造带以后的油气勘探工作。

按照油气聚集层段与油源的关系,岩性-地层油气藏可以分为近源自生自储型和远源它生它储型两大类。前者是指油源岩与储集层是同时异相沉积,二者存在直接接触关系,或由同期沉积的侧向转接而建立联系;后者则是指油源岩与储集层是异时异地沉积,二者间一般没有直接接触关系,往往通过断层或不整合面的沟通,异地建立生烃、排烃与聚集的联系。因上述两种类型的岩性-地层油气藏的成藏要素与过程不同,主控因素与分布规律有别。

统计显示,多数岩性-地层油气藏的形成受“三面”(最大湖泛面、不整合面与断层面)控制,具有“五带”富集的特点。

最大湖泛面指陆相沉积盆地中由最大湖侵期沉积形成的等时界面。一般在最大湖侵期,湖盆汇水范围最大,水体最深,富有有机质泥质沉积岩最发育,往往是烃源岩和盖层发育最好的时期^[2]。根据层序演化发育规律,最大湖侵期往往水体由小变大。在低位域阶段,储集体比较发育,覆盖范围较大,伴随着水进,砂体退积或呈错列叠覆或侧向搭接,使穿时性储集层不规则连接;最大湖泛期过后往往发生水退过程,高位域砂体又呈进积式向湖区推进。因此,在最大湖泛面上、下往往集中了相对多的烃源岩和储集体,构成较好的生储盖组合,形成油藏当属必然。以松辽盆地为例,青山口组一段沉积期是第一最大湖泛期(mfs₁),发育以泥岩为主的沉积层系,湖盆面积达14.7万km²,发育优质烃源岩,是松辽盆地的主力烃源岩层系;第二最大湖泛期(mfs₂)沉积出现在嫩江组一段沉积阶段,形成的湖盆范围达10.5万km²,也发育一套暗色泥岩,是良好的盖层。两大湖泛期泥岩之间发育的生储盖组合控制了松辽盆地已发现石油储量的93%^[13](见图8)。相似的情况在鄂尔多斯盆地上三叠统延长组也存在。

不整合面往往是陆相沉积盆地中湖盆开始发育的

底床, 或者是湖退至最大并经一段时间的剥蚀和沉积侵蚀冲刷之后, 新一期湖侵开始的底界面, 往往是低位域各类砂体发育的主要界面。随着湖侵—湖退的发生, 沉积层序往往由低位域→湖侵体系域→高位域变化。因此, 不整合面上下往往储集体也相对集中发育,

加上不整合面往往是油气运移的主要通道, 与不整合面相关的各类砂体形成油气藏的机会很高。据对渤海湾盆地惠民凹陷临盘油田已发现探明储量的统计^[12], 层序边界附近所发现的储量占整个古近系总探明储量的 83.4%。

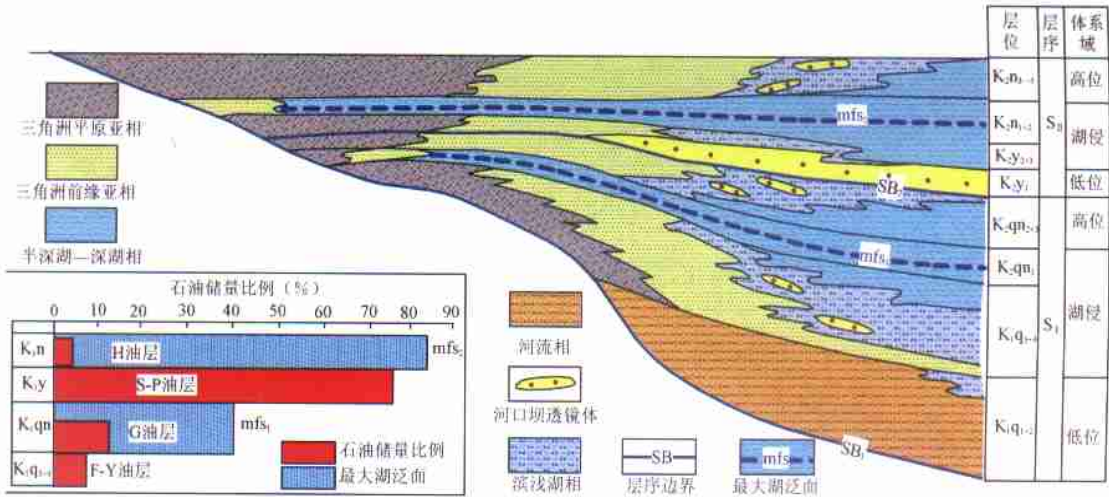


图 8 松辽盆地探明石油储量分布与层序地层关系

断面对油气聚集的控制作用主要得益于以下条件: ①断层两侧的地层错位往往形成地形上的阶地或坡折带, 或者断层作用至地表形成软弱带, 为河流下切并选择流向创造条件, 因此在断层某一侧和沿其走向往往沉积储集体, 如河道砂或各类扇体; ②断层的生长活动往往导致湖盆不对称沉降, 使深汇水区靠近大型断层的下降盘, 是烃源灶最易发育的部位, 这样, 在断层的一侧, 烃源岩和储集体不仅有较大的接触机会, 而且断层与烃源灶直接接触, 为油气高效运移创造条件^[14]; ③断层可以把油气输送至与断层联系的等时和异地的各类优质储集体中, 形成不完全受源控的油气聚集^[9]; ④沿断层面的涂抹, 还使断层在适宜层段形成封闭, 使油气聚集过程发生。

总之, 在追寻和总结富油气凹陷满凹含油的分布特征时, 要特别关注“三面”对油气聚集的控制作用, 应围绕“三面”的上下和左右, 根据需要, 有针对性地开展岩性-地层圈闭的识别以及油源与圈闭组合关系的研究和成图, 这可能是有效和快速发现富油气凹陷中一系列岩性-地层油气藏的捷径。

所谓“五带”指有利沉积相带、古地形坡折带、裂缝带、岩性或地层尖灭带与次生孔隙发育带, 这“五带”对油气成藏、富集与分布的控制是显而易见的。在前述“甜点”与“三面”控油的讨论中已有较多述及, 为避重复, 在此就不过多讨论了。只强调一点, 有利沉积相带与岩性、地层尖灭带对岩性-地层油气藏形成与分布的

控制相当重要, 很多岩性-地层圈闭的形成, 既需要适宜的岩性组合与岩比条件, 储集体在侧向又要有尖灭式终止条件。

统计表明, 我国陆相沉积盆地中已发现的岩性-地层型油气储量有 55.3% 分布在三角洲前缘相带中, 其次是河流相和水下扇砂体, 分别占 13% 和 12.6%, 而洪积、冲积扇与滩坝砂体各占 5%~6%。有利沉积相带对油气富集的控制, 在鄂尔多斯盆地上三叠统和松辽盆地长垣两侧的凹陷区最为典型。鄂尔多斯盆地三叠系已探明石油地质储量的 68% 分布在三角洲前缘分流河道砂体中, 只有 10% 和 2% 分布于三角洲平原相和前三角洲相孤立砂体中。松辽盆地沿古龙—长岭主力生油凹陷的西侧, 发育一系列辫状河三角洲沉积体系, 其中在三角洲前缘相带、岩比在 20%~40% 的带状范围内, 石油成藏概率最大, 找到的储量最多。这都是有利沉积相带控制油气聚集与分布的极好实例。

可见, 在富油气凹陷中, 只要坚持“满凹含油”观, 相信勘探无禁区, 围绕“三面”和“五带”, 分层次系统做好配套研究和工业制图, 以岩性-地层型油气藏为主要目标的勘探工作在成功率与成效方面, 都会得到显著改善。

4 “满凹含油”论提出的意义

总结与发展与油气矿产资源勘探有关的石油地质理论, 不仅要有充分的地质依据, 而且要有良好的需求前景。新观点和新认识的提出, 除了具有总结已有勘

探实践的意义外,更重要的还在于指导对未知资源的发现。富油气凹陷“满凹含油”论的提出主要是出于这个目的,希望能对即将大规模展开的岩性-地层型油气藏的勘探和储量增长有所帮助。

在过去几年中,岩性-地层型油气藏所发现的储量已占全国每年所探明石油储量的一半以上,根据最新一轮油气资源评价结果^[15],剩余石油资源总量的一半以上也主要分布在岩性-地层型油气藏中。前述表明,岩性-地层型油气藏并不完全受正向构造单元的限制,有相当一批分布在凹陷广大斜坡的低部位,甚至是向斜的中心部位。可见,“满凹含油”论对勘探的指导意义是存在的。

4.1 跳出二级构造带,实现满凹勘探

前已述及,提出富油气凹陷“满凹含油”论在于强调勘探理念的转变,即在富油气凹陷的有效烃源灶范围内,找油勘探不应设置禁区,坚信在每一个部位都有可能发现油气藏。这一理念的提出突破了以往“定凹选带”的认识,可改变以往油气勘探多集中于正向二级构造带范围内的做法,实现满凹勘探。相信这一认识对拓展勘探范围、推动岩性-地层油气藏储量的发现节奏和规模都有积极作用。

4.2 催生岩性-地层区带的建立与划分标准

富油气凹陷“满凹含油”论的提出,突显出已有二级构造带概念的局限性,急需要建立岩性-地层区带的概念,并提出相应的划分评价标准。

二级构造带指沉积盆地中或一级构造单元(如隆起或坳陷)范围内,受特定构造环境控制所形成的一组局部构造(包括背斜、断块、断鼻等)的集合体,如背斜带、断阶带、鼻状隆起带、断裂带等。二级构造带具有三维空间含义,即其平面范围一经划定,构造带包括该范围自上的所有沉积层系。在二级构造带范围内的一系列局部构造具有相似的形成条件和发育历史,因而油气成藏条件相似。如果其中的某一个局部构造发现了油气,则构造带范围内的所有构造或圈闭都具有形成油气藏的可能性。

岩性-地层区带指在沉积环境和构造背景的联合作用下形成的在岩性、岩相组合与构造发育历史上密切相关的地层段,受纵向层段和平面地理范围的双重限定,其含义与二级构造带的概念有较大差异。不同层段形成的区带范围是变化的,讨论岩性-地层区带必须先界定层段,然后才能划出范围。此外,对岩性-地层区带的划分更多地要在沉积环境研究的基础上,通过油源与岩性、地层变化带空间展布的组合关系来实现,同时考虑不同沉积相带油气聚集与分布的特征。

有了岩性-地层区带的概念与划分标准,在富油气凹陷满凹勘探时,就有了客观认识油气分布规律和指导加快勘探节奏、提高勘探效益的有效工具。

4.3 确立陆相层序地层学工业性应用与储集层反演技术在岩性-地层油气藏勘探中的核心地位

石油工业发展百余年,有效发现油气藏的勘探技术多种多样。岩性-地层油气藏最大的特点是目标的隐蔽性,识别难度大,需要行之有效的技术保证被发现。最近几年针对岩性-地层油气藏的勘探实践表明,这类油气藏的识别和描述也需要一系列勘探技术的综合配套使用,但最核心的技术有别于针对构造类油气藏的识别与评价,其中以陆相层序地层学评价技术的工业性应用和储集层反演预测技术最为关键。

层序地层学在石油界已出现几十年了。该技术强调在等时地层框架内分析并确定生、储油岩体在三维空间的组合与变化,是客观预测岩性-地层圈闭分布与变化的有效工具。陆相层序地层学的工业性应用,通过统一使用露头、井下、地震资料,以层序边界识别以及层序划分和对比为起点,借助三维地震数据体、层拉平和储集层反演预测技术,在宏观沉积环境与沉积体系研究的基础上,实现对不同体系域各类储集体几何形态与空间位置的描述。针对储集体的特点,有针对性地选择反演技术,达到描述单砂体或最小成因单元砂层组几何形态的目的,是岩性-地层圈闭识别评价的关键。陆相层序地层学工业性应用技术与针对不同对象行之有效的储集层反演预测技术的进步和发展,使针对岩性-地层油气藏的识别与评价成为现实,而且识别精度和准确性越来越高。加上三维地震与高分辨率地震勘探的技术进步,使富油气凹陷满凹勘探得以实现,也是到目前为止被实践证明最有效的技术,值得进一步推广应用。

4.4 坚持满凹勘探,重点寻找“甜点”

在结束本文核心内容讨论之前,作者想重复一点,即富油气凹陷优越的石油地质条件与演化历史为满凹含油提供了基础。因此,应该跳出正向二级构造带,向一片“蓝色”的向斜区(凹陷的向斜区在构造图上常被染成蓝色,以示低部位)推进,实现满凹勘探。同时也应该清醒地认识到,富油气凹陷中并非所有的油气聚集都有经济性,油气相对富集于斜坡背景上的主砂带以及有裂缝系统和鼻状隆起背景的“富块”,亦称“甜点”。富油气凹陷应该在坚持满凹勘探的基础上,重点寻找“甜点”,以实现油藏勘探的高回报。

5 结论

富油气凹陷烃源岩质量好、规模大、热演化适度、

生烃总量大;有效烃源灶范围占凹陷比例大,为伸入凹陷的各类砂体提供了与烃源岩直接接触的最大机会,可保证各类砂体以最大概率聚油成藏。富油气凹陷具备满凹含油的石油地质条件,是陆相沉积盆地中岩性-地层油气藏最发育的地区,控制了这类油气聚集的主体。

富油气凹陷“满凹含油”论的提出,可使勘探不受正向二级构造带的局限,实现满凹找油,勘探范围有了大规模拓展。这一论点的提出,丰富和发展了以往“定凹选带”的勘探理念,催生岩性-地层区带的建立,并制定相应的划分评价标准。这一认识在未来大规模发现陆相沉积盆地剩余油气资源中的地位,可以与 20 世纪 70~80 年代提出的“源控论”和“复式油气聚集理论”相比,也可以说是后两个理论在新勘探形势下的深化与发展,对指导现阶段和未来一段时间岩性-地层油气藏的勘探有着十分重要的意义。

富油气凹陷呈满凹分布的岩性-地层油气藏主要受最大湖泛面、不整合面与断层面的控制,并在“五带”相对富集,即有利沉积相带、岩性或地层尖灭带、沉积阶段古地形坡折带、裂缝带与次生孔隙发育带。“甜点”则在悬挂于斜坡背景上的主砂体以及有裂缝和鼻状隆起背景参与成藏的各类砂体中。

参考文献:

- [1] 赵文智,何登发,李小地,等.石油地质综合研究导论[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [2] 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(源控论)[J].石油学报,1982,3(2):9-13.
- [3] 龚再升,等.中国近海大油气田[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [4] 谯汉生,方朝亮,牛嘉玉,等.中国东部深层石油地质[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [5] 袁选俊,谯汉生.渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J].石油与天然气地质,2002,23(2):130-133.
- [6] 赵文智,池英柳.渤海湾盆地含油气层系区域分布规律与主控因素[J].石油学报,2000,21(1):10-16.
- [7] 吴国璋,朱伟林,黎明碧,等.古湖缺氧条件是控制富生油凹陷形成的重要因素[J].中国海上油气(地质),1999,13(1):1-6.
- [8] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.
- [9] 赵文智,等.中国含油气系统基本特征与评价方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [10] 赵文智,何登发,等.中国复合含油气系统的基本特征与勘探技术[J].石油学报,2001,22(1):6-13.
- [11] 赵文智,何登发.中国复合含油气系统的概念及其意义[A].勘探家[C],2000,5(3):1-11.
- [12] 谯汉生,纪友亮,姜在兴.中国东部大陆裂谷与油气[M].北京:石油工业出版社,1999.

- [13] 袁选俊,薛良清,池英柳,等.坳陷型湖盆层序地层特征与隐蔽油气藏勘探——以松辽盆地为例[J].石油学报,2003,24(3):11-16.
- [14] 赵文智,何登发,瞿辉,等.复合含油气系统中油气运移流向研究的意义[J].石油学报,2001,22(4):7-13.
- [15] 中国石油股份公司主要含油气盆地油气资源评价项目组.主要含油气盆地油气资源评价报告[R].北京:中国石油股份公司,2003.

第一作者简介:赵文智(1958-),男,河北昌黎人,博士,中国石油勘探开发研究院教授级高级工程师,获李四光地质科学奖,从事石油地质综合研究和中国石油勘探开发研究院油气勘探科研工作。地址:北京市海淀区学院路20号,中国石油勘探开发研究院院部,邮政编码:100083。

收稿日期:2004-02-24

(编辑、绘图 王孝陵)

The intension and signification of “Sag-wide Oil-Bearing Theory” in the Hydrocarbon-rich Depression with terrestrial origin

ZHAO Wen-zhi, ZOU Cai-neng, WANG Ze-cheng, LI Jian-zhong, LI Ming, NIU Jia-yu (*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China*)

Abstract: A hydrocarbon-rich depression means one developed in the terrestrial sedimentary basins with the source rocks of high TOC, large scale and suitable thermal evolution as well as huge amount of hydrocarbon generation and migration. The conditions of sag-wide oil-bearing formation in such depressions should be: ① massive hydrocarbon generation provides sufficient source for accumulation in all kinds of sand bodies; ② large scale effective source kitchens usually occupy larger portion of the sags, which offer more opportunity for direct contact between source and reservoirs; ③ lake vibration through time causes frequent alternation and variation of sandstone and mudstone in vertical and lateral directions, which provides suitable condition for formation of different kinds of lithostratigraphic traps. The formation of sag-wide distributing lithostratigraphic traps is mainly controlled by max lake flooding surface, unconformities and fault surface. And hydrocarbon accumulations are dominantly located in favorable sedimentary facies zones, lithological or stratigraphic pinch out belts, slope-breaks at syndepositional stages, fracture zones and secondary pore zones, which are usually called “sweet points”. The “sweet points” are more likely to occur in the major sand bodies and sandstone noses with structural background. Sag-wide oil-bearing theory could develop the theories of “Source Control Accumulation” and “Composite Zones of Hydrocarbon Accumulations”, which can expand the plays beyond sub-structure zones and widely enlarge the target scope.

Key words: Hydrocarbon-rich Depression; Sag-wide Oil-Bearing Theory; Lithostratigraphic Trap; Formation Factor; “Sweet Point”