

文章编号:0253-9985(2010)02-0193-05

车镇凹陷套尔河洼陷古地层压力演化与油气幕式成藏

曾治平¹,郝芳²,宋国奇³,隋风贵¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司 西部新区研究中心,山东 东营 257200;

2. 中国石油大学 油气成藏机理教育部重点实验室,北京 100049;

3. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司,山东 东营 257200)

摘要: 济阳坳陷车镇凹陷套尔河洼陷普遍发育异常高压,且异常高压的演化与油气生成、运移、聚集具有内在的联系。通过古地层压力恢复确定地史时期地层压力的演化规律,对比有机质热演化阶段的划分,能有效地确定地层压力演化不同阶段与油气生成、运移和聚集的阶段,最终确定地层流体在不同压力演化阶段的流动样式。车镇凹陷地层压力演化存在两期超压积累-释放过程,早期超压积累过程形成的微裂缝是烃类初次运移的主要通道;晚期超压积累过程形成的次生孔隙和微裂缝是烃类大量运移的二次运移通道和集聚空间。

关键词: 异常高压;古地层压力;流动样式;运移;套尔河洼陷;车镇凹陷;济阳坳陷

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Palaeo-formation pressure evolution and episodic hydrocarbon accumulation in Tao' erhe Depression, Chezhen Sag

Zeng Zhiping¹, Hao Fang², Song Guoqi³, and Sui Fenggui¹

(1. West Frontier Research Center, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257200, China;

2. Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257200, China)

Abstract: In Tao' erhe Depression, abnormally high pressure is generally developed and its evolution is inherently connected with hydrocarbon generation, migration and accumulation. The various periods of formation pressure evolution and the episodic hydrocarbon generation, migration and accumulation can be effectively determined by restoring paleo-formation pressures and making a comparison among divisions of thermal evolution stages of organic matter. The flow patterns of formation fluids are identified in the different periods of pressure evolution. In Chezhen Sag, there were 2 processes of overpressure accumulation and release during the formation pressure evolution, with the microfractures formed during the early overpressure accumulation becoming the main pathway for primary hydrocarbon migration. The secondary pores and microfractures formed during the late overpressure accumulation can serve as the pathway for great secondary hydrocarbon migration and the space for hydrocarbon accumulation.

Key words: abnormally high overpressure, paleo-formation pressure, flow pattern, migration, Tao' erhe Depression, Chenzhen Sag, Jiyang Depression

现代成烃理论表明,异常高压特别是强超压是有机质成烃演化过程的一个重要影响因素^[1~5],且超压环境异常高压对储层的影响也逐渐受到地质研究者的日益重视。超压背景地质单

元内,地层流体(包括油、气、水)的驱动力、流动样式也与异常高压的发育具有密切的联系^[1,6]。因此研究地层压力的演化与有机质成烃演化、烃类运移、聚集密切相关^[6~9]。但是,传统研究手段是

收稿日期:2009-03-18。

第一作者简介:曾治平(1977—),男,博士后,油气成藏。

基金项目:中石化股份有限公司胜利分公司胜利油田博士后科研基金项目“套尔河洼陷地层压力演化及其与油气藏的关系”(YKB0702)。

通过将今论古的思想对地史时期地层压力演化等各种“场”进行简单模型的定性描述,缺乏定量或半定量的概念,因此其研究结果往往与实际地质演化过程相距甚远。利用古地层压力恢复方法可以准确确定不同地史时期古地层压力值,通过在时间轴的变化曲线来确定古地层压力的演化规律,结合有机质热演化的阶段性,确定地层压力演化不同阶段地层流体的流动样式以及聚集模式^[10,11]。

1 地质概况

1.1 地质背景

车镇凹陷为渤海湾盆地济阳坳陷北部的一个次级凹陷,是一北断南超、近东西向延伸“S”型狭长分布的箕状陆相断陷盆地(图 1)^[12]。整个车镇凹陷是在中-古生界地层之上发育的一套新生界沉积单元,洼陷中心古近系沙河街组地层埋深厚达 3 000 m,是个有利的生油中心。套尔河洼陷位于车镇凹陷的中段,勘探面积约 450 km²,自 2005 年底发现沙(河街组)三段下亚段含油层系以来,已钻井 7 口,分别位于洼陷北部陡坡带、洼陷中心带以及南部的斜坡带,试油结果显示沙河街组下段具有油气显示,其中 6 口井发现不同规模工业性油气藏,其中以洼陷沉积中心车 66 井为代表,初产 196 t/d,具有很好的勘探前景,但相同层位的北部陡坡带车 661 井却显示为干井,表明油气藏分布的强非均质性。另外,显示良好的 6 口探井在沙三段中、下亚段至沙四段上亚段均出现异常高压,且与含油砂体一致。因此从古压力场演化角度来研究车镇凹陷的成藏动力学就显得尤为重要。

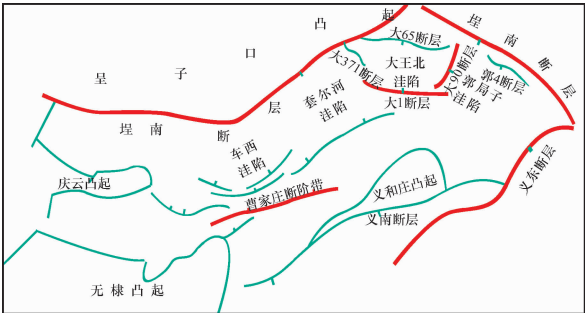


图 1 车镇凹陷构造单元

Fig. 1 Distribution of structural elements in Chezhen Sag

1.2 压力特征

通常异常高压层段内含油层系具有不同规模油气藏,但受超压结构的影响,不同压力结构,如超压顶界面特征、超压幅度、超压系统的划分等不同,含油幅度或含油高度也存在巨大的差异。套尔河洼陷车 66 块地层压力特征如图 2 所示。钻井泥浆密度显示沙三段下亚段 3 800 m 左右出现明显增幅,压力系数最高可达 1.86,声波时差计算曲线表明地层压力在 3 800 m 附近出现异常(图 2),4 300 m 左右达最大,地层压力达 68.0 MPa,测井试油结果显示 4 231.1~4 253.8 m 层段测得地层压力高达 71.83 MPa,压力系数达 1.7,为强超压层段。另外从图 2 可以看出,异常高压与沙三段下亚段沉积厚层油页岩有关,主要压力积累出现在沙三段下亚段油页岩内部。

1.3 超压系统的划分

套尔河洼陷及其周缘的地区地层压力在垂向上具有明显的规律性特征,在深度剖面上,依据压力系数分类可以划分为上部静水压力系统、中部超压系统(中部强超压系统)以及底部的常压系统。且不同构造部位其超压分布特征存在差异。

根据单井试油实测地层压力资料以及声波时差曲线计算的地层压力分布,以车镇凹陷车 66 块为例,对车镇凹陷二维剖面论述地层压力结构特征(图 3)。图 3A 为近车镇凹陷轴向的二维压力结构剖面。从图上可以看出,车 66 块地区地层压力在垂向分布特征类似一维单井压力结构,但是对于箱式结构的超压体系内,地层压力还可以划分 3 个环状压力体系,即外环的常压系统($P_c < 1.10$)、中环的异常高压系统($1.10 < P_c < 1.73$)与内环的强超压系统($P_c > 1.73$)。

1) 外环常压系统($P_c < 1.10$)。由剖面上看,正常压力系统分布在沙三中段下段的洪泛面之上,包括沙三段中、上亚段到第四系地层。套尔河洼陷常压系统内地层没发现含油气层系,在凹陷边缘构造突起部位,由于存在沟通深部超压层系的断裂疏导系统,局部地区在沙二段发现含油气层系。2) 中环异常高压系统($1.10 < P_c < 1.73$)。按照超压幅度的不同,不同区域存在不同程度的异常高压,洼陷内普遍存在较高幅度的异常高压,如车 660 井在沙三段中、下亚段存在压力系数 1.68

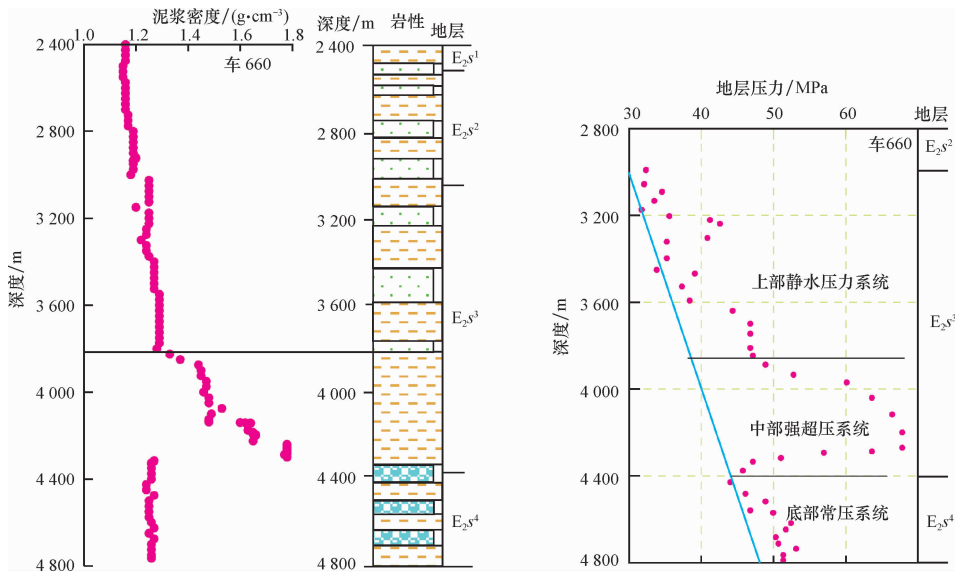


图2 套尔河洼陷车66块钻井泥浆密度、测井计算压力与岩性变化关系

Fig. 2 The relationships among drilling mud weight, pressure calculated by logging and lithologic variation in Bolock 66 of Tao'erhe Depression

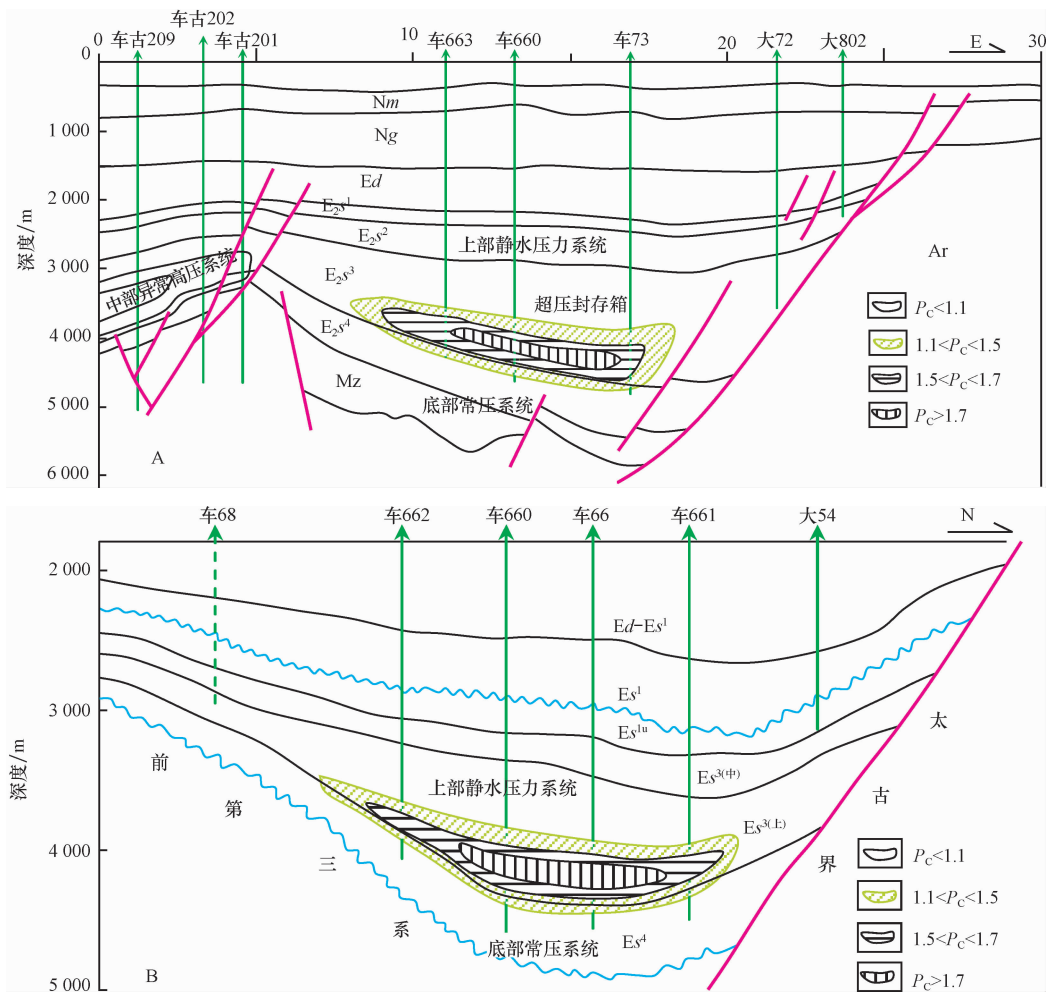


图3 车镇凹陷二维剖面地层压力结构

Fig. 3 The structure of formation pressure in 2D section of Chezhen Sag

的异常高压,而在车西以及车古 20 块地区,中环异常高压幅度则明显较低,压力系数在 1.1~1.5 之间。3)内环强超压系统($P_c > 1.73$)。主要发育沙三段底以及沙四顶段。试油资料显示,在车 660 井的沙三段底附近测得压力系数 1.72 的强超压。

图 3B 为套尔河洼陷过沉积中心南北向二维剖面地层压力结构。从图上可以看出,地层压力结构也存在垂向上的压力结构划分,且纵向上也可以根据地层压力值的大小划分环状压力结构特征。

胡济世、解习农以及陈中红等曾对济阳坳陷的东营凹陷地层压力封存箱进行过论述^[2,9]。结合前人对封存箱研究成果与认识,认为车镇凹陷地层压力存在类似超压封存箱型的特征,但是从一维以及二维剖面上来看,又区别于东营凹陷,车镇凹陷各个洼陷形成于生烃层段的超压封存箱在整体上未能形成统一的压力结构系统,而是各个次级洼陷独立形成小型的封存箱,各个封存箱之间的压力结构特征相差甚远。而明确这一点,对于超压环境油气的生成、油气成藏的规律以及成藏模式研究对车镇凹陷不同次级洼陷的油气勘探具有十分重要的意义。

2 古地层压力演化规律

古地层压力恢复技术是今年来发展的一项定量研究技术,对于成藏动力学的阶段性定量研究提供了量化依据。目前这一方法技术主要依据同期烃类包裹体与盐水包裹体均一温度测试手段,在 PVTsims 软件平台实现恢复不同历史时期古地层压力^[9~11],通过时间尺度来反映地史时期地层压力的演化特征及其规律。研究其演化规律,可以更好的研究地史时期地层流体活动的差异性、阶段性,从而用于指导实际的油气勘探和预测。

根据同期油包裹体与盐水包裹体组成的“数据对”,测试出不同地史时期古地层压力数据,套尔河洼陷古地层压力在时间轴上呈现非线性变化(图 4)。从整体演化特征来看,地史时期古地层压力出现 2 个峰值,即呈现为双峰型或驼峰型特征,根据演化特征可划分为 2 个循环 4 期演化(图 4)。I 期:即早期非均衡压实超压系统形成期。

在沙三早期沉积时期之前,地层压力基本正常,随着沙三早期快速沉积作用,地层压力出现较大幅度增压,在 32.5 Ma 左右,达到第一个峰值,此时地层压力系数可高达 2.16。对应时期的沉积层段为区域沉积的沙一段厚层泥岩,说明早期由于快速沉积作用积累的地层压力在区域盖层作用逐渐增大的趋势,值得说明的是,在这一时期内,沙三下亚段 2 套暗色泥岩还未进入生烃演化成熟期; II 期:早期压力释放和生烃作用为辅共同作用期。32.5 Ma 之后,由于各种地质作用或构造活动作用下的自然泄漏,例如东营期区域地壳抬升造成的地层剥蚀,致使地层压力迅速减小,在 22 Ma 左右地层压力达最低,此时地层压力系数在 1.2~1.4 之间,甚至更低,属于常压-弱超压系统;同时,沙三段下亚段 2 套暗色泥岩在这一时期开始逐渐成熟,生烃作用开始对地层压力产生贡献。 III 期:晚期成烃作用超压积累期。进入馆陶期特别是馆陶末期,由于沙三段下亚段烃源岩进入成烃演化阶段,这一时间,由于生烃作用,地层压力又逐渐增大,在 11.0~10.5 Ma 左右,古地层压力达到第二个峰值,此时地层压力系数可高达 2.08。这一时期,由于地层压力大于破裂压力,微裂缝又开始形成,同时由于进入中-高成熟阶段,大量成烃演化过程生成的有机酸是对沙三段下亚段砂砾岩层次生孔隙产生另一重要因素。 IV 期:晚期超压系统调整期。在缺乏理想封闭层密闭作用下,在多种因素作用下的生压过程与自然条件下的卸压过程相互作用下,地层压力逐渐减小,并最终形成目前车镇凹陷压力场特征(图 4)。

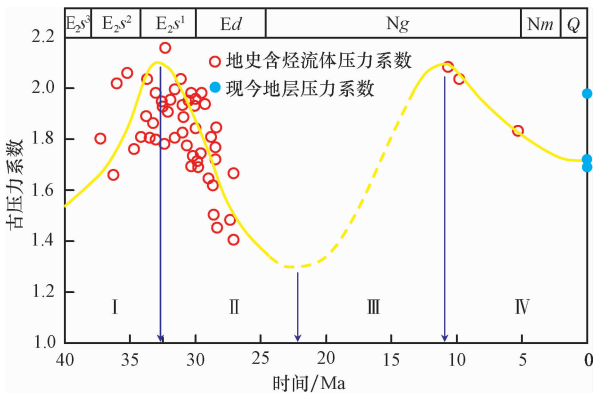


图 4 车镇凹陷古地层压力随时间演化关系
Fig. 4 The palaeo-formation pressure evolution over time in Chechen Sag

3 古地层压力演化与油气成藏阶段性的关系

油气聚集成藏是指有机质成烃演化形成的烃类在各种动力作用下通过初次运移、二次运移乃至多次运移过程在合适储集空间保存形成的油气规模。而异常高压作为地层流体流动的一种动力,其形成时间、作用期限以及幅度决定了异常高压环境超压与油气成藏过程的阶段性特征^[1,2,7,13,14]。

依据古地层压力恢复测试结果,套尔河洼陷沙三段下亚段欠压实增压为早期超压,后期生烃演化阶段成烃增压属于晚期超压。晚期形成的烃类在早期形成的超压环境下,油气由于异常高压动力在早期形成的裂缝体系发生初次运气,而后向邻近砂体发生二次运移形成油气藏。这一过程对应古地层压力演化的Ⅲ期,即在晚期烃类生成过程中,压力逐渐增大,早期存在的裂缝由于压力再次增大达到甚至超过破裂压力,裂缝开启,形成油气运移通道。晚期生成的油气绝大部分保存在异常高压砂体内部,说明在封闭式的地质体内油气主要沿着早期超压裂缝形成幕式油气藏。

3.1 早期欠压实超压是储层物性保存的主要原因

沙三段下亚段($E_2s^{3(下)}$)沉积时期,由于快速沉积作用造成地层流体未能及时排出,形成地层欠压实状态,沙三段下亚段储层孔渗条件保存较好(图5)。在强超压中心,孔隙度可达18%,而在超压封存箱顶底附近,由于异常高压幅度逐渐减弱,孔隙度逐渐减小趋于正常压实状态(图5)。

3.2 强超压是储层微裂缝和次生孔隙的主导因素

沙三段中、下亚段沉积地层在沙一段区域沉积盖层封闭作用下,及沙四段上亚段最大洪泛面侧向与底层封闭作用下,形成沙段三中、下亚段的超压封存箱型超压系统,随着地层压力的逐渐增加,沙三段中、下段地层压力大于地层破裂压力,形成超压封存箱体系地层微裂缝,地层微裂缝的产状与超压封存箱分布一致,沿着沉积中心呈环形分布,超压幅度最大分布层段的沙三段中、下亚段地层形成微裂缝带。如车662井在沙三段下亚段3605.13~3734.93 m发育72.77 MPa的强超

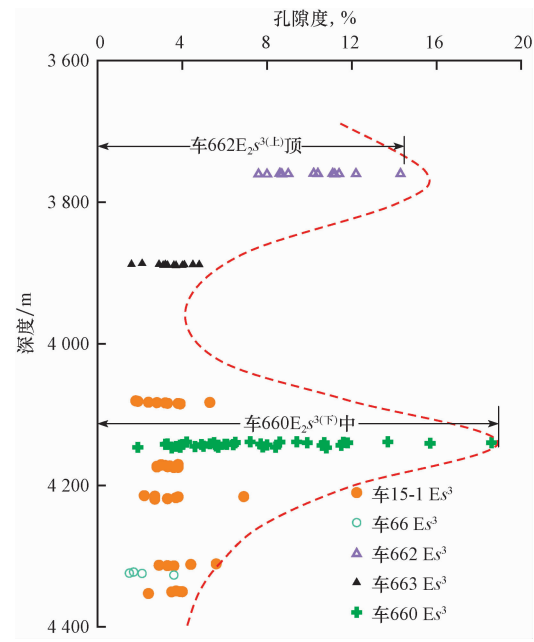


图5 套尔河洼陷沉积中心物性变化曲线
Fig. 5 The curve of petrophysical variation in Tao'erhe Dispression

压系统,顶部发育一裂缝发育带;车660井在沙三段下亚段的中部也发育一裂缝带。裂缝带的发育为地层流体的运移提供了良好的通道,也为晚期油气的初次运移提供良好的通道。

3.3 微裂缝的幕式开启是油气运聚成藏的主要控制因素

古地层压力测试表明,地史时期地层压力的演化表现为2期幕式循环的特征(图4)。沙三早期快速沉积作用造成的地层欠压实异常高压在后期区域沉积的盖层和物理隔挡作用呈现箱式异常高压体,地层压力积累过程使得地层压力大于地层破裂压力,从而形成一系列的微裂缝带,在能量释放后地层压力迅速减小裂缝重新封闭;晚期成烃作用下的增压作用再次使得地层压力大于地层破裂压力,早期封闭的裂缝在后期超压的积累下再次得以开启,油气进行初次、二次运移,并在超压封存箱内的砂体形成裂缝型油气藏。

现今油气勘探结果也显示,以车66井为沉积中心的套尔河洼陷沙河街组油气藏主要表现为沙三段下亚段—沙四段上亚段的致密砂砾岩体裂缝型岩性油气藏,如车66井在3755.6~3759.6 m段初期日产0.28 t,经过压裂措施后日产25.8 t。

(下转第205页)