

东濮凹陷胡状集油田油气输导体系及模式

饶蕾¹,王学军¹,王鹏宇¹,孟亚丽²,柯明文¹,尚雅珍¹

(1.中国石化中原油田分公司 勘探开发科学研究院,河南 濮阳 457001;

2.中国石化中原油田分公司 档案管理处,河南 濮阳 457001)

摘要:东濮凹陷胡状集油田位于凹陷缓坡,多条近平行的二级断层将其切割形成断阶构造,伴生的三、四级断层将构造进一步复杂化。研究区发育辫状河三角洲沉积,砂、泥岩频繁间互,砂体、断层及其相互配置构成了胡状集油田复杂的油气输导体系,对油气运移和聚集具有重要作用。通过分析胡状集油田胡5断块区输导体系与油气分布的关系发现,胡状集油田为其东侧洼陷带烃源岩生成的油气近东西向运移至斜坡带聚集形成;砂体厚度和断距控制断层两侧的岩性对置关系,进而影响断层的侧向封闭性。砂体与断层配置形成2种油气输导模式,并控制研究区油气的运移和聚集。对于走向与主断层平行的断层,当断距较小且砂岩厚度较大时,具有输导油气的作用;当断距较大时,可断开厚层砂体,有利于油气聚集。对于与主断层斜交的断层,其断距较小且砂体厚度较大的部位有利于油气输导,而断距较大且砂体厚度较小的部位则易于封堵油气。

关键词:断层封闭性 岩性对置关系 油气运移方向 油气输导体系 油气输导模式 胡状集油田

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)06-0041-04

油气输导体系是油气成藏研究的核心和难点,近年来中外学者针对砂岩孔隙介质、不整合面和断裂等输导体系开展了广泛而深入的研究,并进行了大量的实例观测、理论分析、模拟实验和数值模拟^[1-6],提出了多种输导体系类型的划分方案^[7-9],在输导体系与油气分布关系等方面的研究中取得了重要的进展。

目前,针对不同类型输导体系中油气运移过程的研究偏重于微观机理或是依据不同输导体系组合建立起来的概念模型^[10];但从勘探实践出发,建立某一地区实际的输导体系格架是开展油气运聚过程研究的基础和重要前提^[11]。为此,笔者以东濮凹陷胡状集油田为例,在前人研究的基础上^[12],重点分析其沙三段中亚段的油气输导体系特征,综合断层和砂体的配置关系、油气分布特征及油气运移方向等,探讨研究区油气输导体系与油气分布的关系,并建立油气输导模式,以期对胡状集油田下步的油气勘探提供借鉴。

1 区域地质概况

东濮凹陷西部斜坡带自西向东依次发育五星

集断层、石家集断层和长垣断层3条北北东走向的二级断层,形成东掉断阶斜坡式构造;其中,长垣断层下降盘为一台阶,石家集断层与长垣断层之间为二台阶,五星集断层与石家集断层之间为三台阶。其沉积地层包括古近系沙河街组和东营组,新近系馆陶组、明化镇组及第四系,其中沙三段下亚段和中亚段为油气富集的主要层系。

胡状集油田主体位于西部斜坡带中部的二台阶,其北部地区继承性发育胡5-7次级洼陷,与长垣断层和石家集断层斜交的二、四级断层围绕该次级洼陷呈弧形展布;南部地区为继承性发育的大型鼻状构造,并被多条走向与石家集断层近于平行的三、四级断层复杂化。研究区由北向南可划分为胡5断块区、胡7断块区和胡12断块区。胡状集油田的油气来源于一台阶沙三段烃源岩^[13-14],东营组沉积时期生成的低成熟-成熟油气通过长垣断层运移至二台阶^[15-16];但同源同期的油气在研究区的平面分布特征却存在显著差异^[17-18]。在胡5-7次级洼陷北部地区,从低部位到高部位的断块中均发现油气,且围绕洼陷呈半环状分布;南部地区的油气主要分布于高部位的断鼻构造,而在低部位断块中发现的油气则较少。

收稿日期:2014-09-12。

作者简介:饶蕾,女,助理工程师,从事油气分布规律研究。联系电话:18639332652, E-mail:471956549@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“东濮凹陷油气富集规律与增储领域”(2011ZX05006-004)。

2 油气输导体系

2.1 油气运移方向

油气运移方向是油气输导体系研究的基础,利用原油 C_{29} 规则甾烷和原油饱和烃碳同位素可以分析胡状集油田的油气运移方向。

2.1.1 原油 C_{29} 规则甾烷

原油运移过程中很多组分均会发生地色层效应,可将其运用于油气运移方向的示踪分析。目前,吡咯类含氮化合物由于地色层效应显著而得到广泛应用^[19-21]。原油 C_{29} 规则甾烷的不同组分同样具有地色层效应,随着运移距离的增加,甾烷中 $\alpha\beta\beta$ 组分会相对富集。Seifert 认为,原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/\alpha\alpha\alpha 20R$ 在石油运移过程中不受地色层效应的影响;而原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$ 既受原油成熟度的影响,又受地色层效应的影响^[22]。根据原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/\alpha\alpha\alpha 20R$ 和 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$,即可以判断油气的运移方向和运移的程度^[23]。胡状集油田已有较多的原油饱和烃色谱—质谱分析数据,可以弥补含氮化合物分析数据不足的缺点。统计其原油饱和烃色谱—质谱分析数据发现,研究区原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/\alpha\alpha\alpha 20R$ 值变化较小,主要集中分布于 0.31~0.45,表明其原油成熟度变化范围较小;而原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$ 值分布于 0.25~0.87,变化范围较大,说明原油在运移过程中发生明显的地色层效应。胡状集油田沙三段中亚段原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$ 等值线分布特征(图1)表明:研究区自东向西原

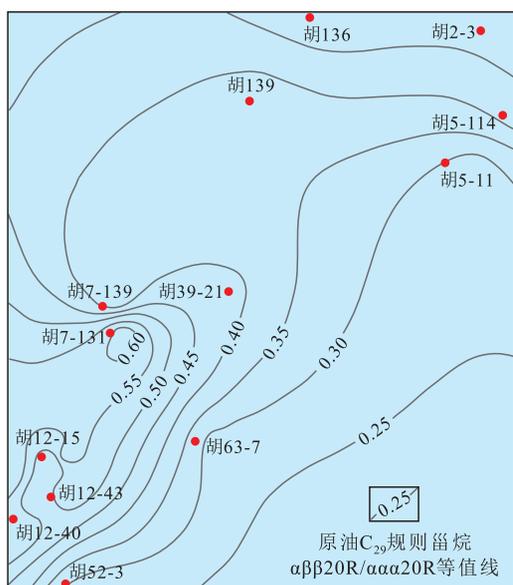


图1 胡状集油田沙三段中亚段原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$ 等值线分布

油 C_{29} 规则甾烷中的 $\alpha\beta\beta$ 组分逐渐富集, C_{29} 规则甾烷 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$ 值逐渐增大;由于原油 C_{29} 规则甾烷 $\alpha\beta\beta 20R/\alpha\alpha\alpha 20R$ 值越大,反映油气运移的距离越远,据此可以确定研究区的油气为自东向西方向运移。

2.1.2 原油饱和烃碳同位素

在油气运移过程中,原油饱和烃中的 ^{13}C 随着运移距离的增加而相对富集,而 ^{12}C 则相对消耗^[24],致使油气运移过程中原油饱和烃碳同位素值逐渐变重。胡状集油田沙三段原油饱和烃碳同位素等值线分布特征表明(图2),研究区自东向西原油饱和烃碳同位素值逐渐变大,为 -30% ~ -28% ,说明其原油饱和烃碳同位素具有较为明显的运移分馏效应,在油气自东向西由洼陷向斜坡带运移过程中 ^{13}C 逐渐富集,而 ^{12}C 则逐渐消耗,导致原油饱和烃碳同位素值变重。

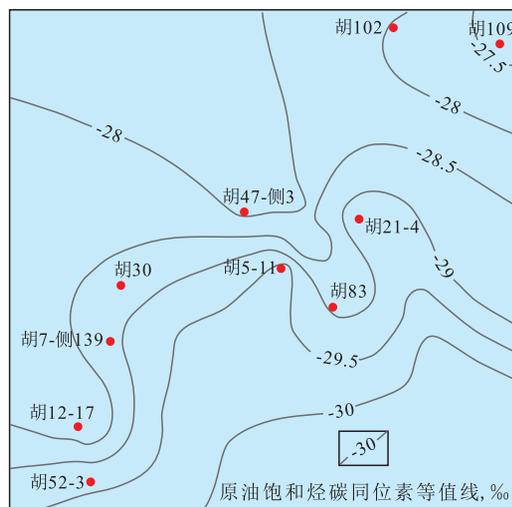


图2 胡状集油田沙三段原油饱和烃碳同位素等值线分布

2.2 油气运移通道

2.2.1 砂体

胡状集油田沙三段以辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体为主要的储集类型,在测井曲线上表现为箱形、齿化箱形和钟形特征。以测井相分析为基础,识别出辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体,统计相对较为稳定且具有一定规模(单层厚度大于 4 m 的单期河道或多期叠加河道)的河道砂体,分析研究区沙三段各砂组辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体厚度平面分布特征及其与油气分布的关系。研究结果表明,胡状集油田沙三段各砂组辫状河三角洲前缘水下分流河道具有一定的继承性,在胡5断块区和胡7断块区存在3个水下分流河道砂体发育区,但不同砂组的砂体厚度稍有变化。以沙三段中亚段2砂组为例(图3),研究区河道砂体

自西向东展布,形成油气优势运移通道,油气可向西部高孔高渗透带砂体运聚成藏。在胡5断块区辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体发育区,其砂体连通性较好,一般不受断层断距影响,断层两侧的砂体对置关系较好,油气侧向运移距离较远,可形成油气的连片分布;而在砂体欠发育区,砂体连通性差,受断层断距影响,断层两侧的砂体对置关系较差,油气侧向运移距离较近,油气临近洼陷带分布;因此,在油气的侧向运移过程中,砂体运移通道具有重要作用。

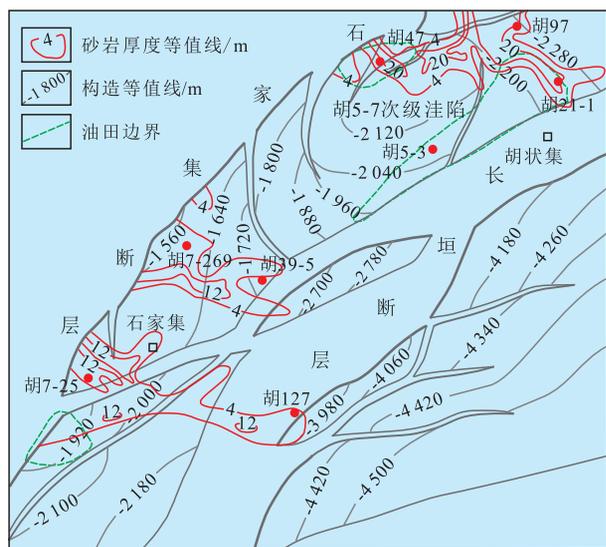


图3 胡5断块区沙三段中亚段2砂组砂岩厚度及油气平面分布

2.2.2 断层

胡状集油田二台阶内部的断层非常发育,根据其走向可划分为与主断层斜交和近平行2种类型,根据倾向可划分为顺向断层和反向断层2种类型。分析断距与油气分布的关系发现:当断距较大时,断层的封堵性较好,圈闭内油气富集程度较高;当断距较小时,断层的封堵性较差,圈闭内的含油气高度则较小。

断层的侧向封闭性研究较为复杂,当断层两侧为砂—泥对接时,通常是封堵的;当断层两侧为砂—砂对接时,由于断面的泥岩涂抹、糜棱岩化以及胶结作用等也可导致断层封闭;但砂—砂对接可以增加断层输导油气的概率,因此主要探讨断层两侧为砂—砂对接时对油气输导的影响。当断距较小且砂体发育时,断层两侧为砂—砂对接的概率增加,封堵条件变差;当断距较大且砂体不发育时,断层两侧为砂—砂对接的概率减小,封堵条件变好。以沙三段中亚段2砂组为例(图3),在胡5-7次级洼陷北部发育多条与长垣断层斜交的次级断层,其向

主断层一端的断距较大,向另一端的断距减小直至消失;围绕该次级洼陷靠近斜交断层末端发育1条延伸较远的辫状河三角洲前缘水下分流河道,其砂体累积厚度最大超过20 m,而该部位断层的断距约为20~30 m;因此,在砂体发育部位的断层封闭性应较差,断层与砂体相配置构成了油气的优势运移通道,使油气向高部位输导。研究区厚层砂体的录井显示多为水层,也证实了断距较小且砂体发育时,断层的封堵条件变差。

3 油气输导模式

胡状集油田主要发育以砂体和断层为油气运移通道的砂体—断层复合型输导体系,砂体厚度和断距共同控制断层两侧的岩性对置关系。断层组合类型不同,油气输导模式亦不同,可分为断层走向与主断层近平行、断层走向与主断层斜交2种类型。对于走向与主断层近平行的断层,当断距较大时,可断开厚层砂体,使断层两侧砂—泥对接的概率增大,易于形成油气聚集成藏;当断距较小时,断层两侧为砂—砂对接的概率较大,可形成油气的运移通道(图4a)。对于走向与主断层斜交的断层,其油气输导模式和断层走向与主断层近平行相类似,

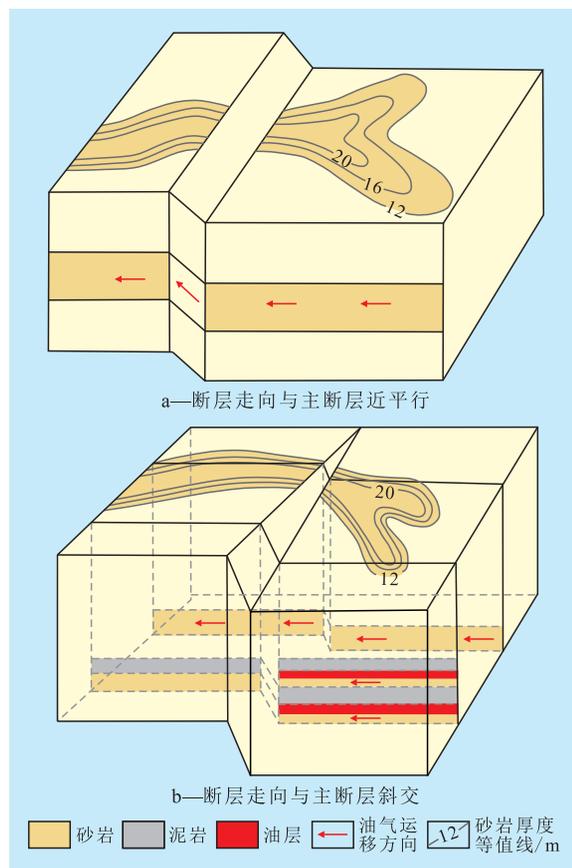


图4 胡状集油田油气输导模式

但断距的变化会进一步影响断层的封闭性;在断距较小的一侧,油气输导性能较好;而在断距较大的一侧,则易于封堵油气;在断层与砂体叠合位置形成油气运移通道,在断距较大和断块高部位则易于封堵形成油气聚集成藏(图4b)。

4 结束语

东濮凹陷胡状集油田为洼陷带沙三段烃源岩生成的油气自东向西运移至斜坡带聚集成藏,厚层砂岩和断层配置形成其油气运移的优势通道。砂体厚度和断距共同控制断层两侧岩性的对置关系,造成断层封堵与输导作用的差异。不同类型断层与砂体配置可形成不同类型的油气输导体系,构成不同的油气输导模式并控制油气的分布。研究区主要发育以砂体和断层为油气运移通道的砂体—断层复合型输导体系,可分为断层走向与主断层近平行、断层走向与主断层斜交2种油气输导模式。当断层断距较小且砂体发育时,油气输导性能较好;当断层断距较大时,可断开厚层砂体,易于封堵形成油气聚集成藏。对于已进入开发中后期的胡状集油田,精细刻划砂体分布特征以及加强断层要素分析可进一步提高老区挖潜的成功率。

参考文献:

- [1] 吕希学.沾化凹陷仓储层的孔隙度和埋深对油气运聚的影响[J].油气地质与采收率,2011,18(6):6-8,13.
- [2] 阎福礼,贾东,卢华复,等.东营凹陷油气运移的地震泵作用[J].石油与天然气地质,1999,20(4):295-298.
- [3] 卢学军,刘华,王建瑞,等.渤海湾盆地霸县凹陷输导体系与新近系油气运聚特征[J].石油实验地质,2010,32(3):258-261.
- [4] 曾澍辉.正韵律砂层中渗透率级差对石油运移和聚集影响的模拟实验研究[J].石油勘探与开发,2000,27(4):102-105.
- [5] 郭鹏,李春林,哈文雷,等.构造应力场与油气运聚规律探讨——以鄂尔多斯盆地苏10区块为例[J].特种油气藏,2011,18(5):64-66.
- [6] Hindle A D.Petroleum migration pathways and charge concentration: A three-dimensional model[J].AAPG,1997,81(9):1451-1481.
- [7] 姜慧超,宋宁,耿长波.苏北盆地海安凹陷泰州组输导体系及其控藏作用[J].油气地质与采收率,2011,18(5):23-26.
- [8] 孙波,张善文,王永诗.断层输导能力定量评价及其在油气勘探中的应用——以济阳拗陷青西地区为例[J].油气地质与采收率,2013,20(6):10-14.
- [9] 聂逢君,姜美珠,李思田.南海珠江口盆地珠三拗陷油气输导系统研究[J].石油实验地质,2011,33(4):392-401.
- [10] 张新涛,牛成民,黄江波,等.黄河口凹陷渤中34区明化镇组下段油气输导体系[J].油气地质与采收率,2012,19(5):27-30.
- [11] 王昕,高坤顺,王玉秀,等.庙西南凸起勘探发现与油气成藏条件分析[J].特种油气藏,2013,20(2):16-19.
- [12] 何方,杨永林,吕迎红,等.东濮凹陷西部斜坡带油气勘探潜力分析[J].江汉石油学院学报,2004,26(1):25-26.
- [13] 黄东,刘全洲,杨跃明,等.川西北部地区下二叠统茅口组油苗地球化学特征及油源研究[J].石油实验地质,2011,33(6):617-623.
- [14] 苏惠,张金川,曲丽萍,等.东濮凹陷西斜坡油藏地球化学特征与油气源对比[J].石油天然气学报,2005,27(6):7-11.
- [15] 李林强,林壬子.利用芳烃化合物研究东濮凹陷西斜坡地区原油成熟度[J].沉积学报,2005,23(2):361-366.
- [16] 黄龙威.东濮凹陷西斜坡地区原油成熟度研究[J].石油学报,2006,27(7):51-55.
- [17] 徐伟,宋国奇,王建伟.东营凹陷南坡东段沙四段原油特征及其地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(2):30-33.
- [18] 苏爱芹,赵其磊,李建荣,等.东濮凹陷胡庆构造带油气成藏模式及勘探潜力[J].断块油气田,2005,12(4):20-23.
- [19] 邹伟.含氮化合物在东濮凹陷西斜坡油气运移研究中的应用[J].石油天然气学报,2005,27(3):284-288.
- [20] 王铁冠,李素梅,张爱云,等.应用含氮化合物探讨新疆轮南油田油气运移[J].地质学报,2000,74(1):85-93.
- [21] 张宝,包建平.有机含氮化合物研究新进展[J].天然气地球科学,2004,15(2):182-185.
- [22] 王启军.油气地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,1988:219.
- [23] 陈义才,沈忠民,罗小平.石油与天然气有机地球化学[M].北京:科学出版社,2007:190-192.
- [24] 王强,付晓文,徐志明,等.稳定碳同位素在油气地球化学中的应用及存在的问题[J].天然气地球科学,2005,16(2):233-237.

编辑 邹澍滢

欢迎订阅《油气地质与采收率》