

文章编号:1009-9603(2021)01-0010-07

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2021.01.002

渤海湾盆地济阳坳陷下古生界潜山 勘探新认识与新发现

马立驰^{1,2},王永诗¹,景安语²

(1.中国石化胜利油田分公司,山东 东营 257001; 2.中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院,山东 东营 257015)

摘要:下古生界潜山作为济阳坳陷重要的勘探目标,具有良好的油气形成与富集地质条件,相继发现了以桩西潜山、埕岛潜山等为代表的一系列大中型潜山油气田(藏)。目前济阳坳陷下古生界潜山进入高勘探程度阶段,通过潜山油气成藏条件深化认识,取得了一定的发现,实现了下古生界潜山勘探的突破。通过对断层性质、活动时间等与圈闭有效性的分析,认为北东走向、古近纪之后不活动、压扭性质的走滑断层具有一定的封堵性能,为负向构造型、斜坡型潜山勘探指明了方向。基于沟通油源断层走向输导能力的研究,提出超压环境下油气可以沿着断层进行横向输导,激活了没有直接油气来源的潜山块体的勘探局面。通过对烃源灶压力系统和断层纵向输导能力的研究,提出在超压环境、向上输导不利的条件下油气可以沿断层向下倒灌运移,使源下潜山勘探看到了希望。在新认识指导下,通过一系列的钻探,在埕北313、埕北古斜14、桩古65和车古27等潜山先后获得成功,新发现了一系列隐蔽型潜山油藏,打开了济阳坳陷下古生界潜山勘探的新局面。

关键词:下古生界潜山;断层封堵;走向运移;倒灌运移;新认识;新发现;济阳坳陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

New understanding and discovery in exploration of Lower Paleozoic buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

MA Lichi^{1,2}, WANG Yongshi¹, JING Anyu²

(1.Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257001, China; 2.Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: The Lower Paleozoic buried hills, as important exploration targets in Jiyang Depression, have the good geological conditions of hydrocarbon enrichment and forming reservoir. A series of large and medium buried hill oilfields (reservoirs) such as Zhuangxi buried hill and Chengdao buried hill etc. have been discovered successively. With the high degree of hydrocarbon exploration, some discoveries have been made with the improved understanding of reservoir forming conditions, and a breakthrough in the exploration of the Lower Paleozoic buried hill have been made as well. Through the analysis of fault property, active time and trap effectiveness, it is considered that the NE strike slip faults with characteristics of inactivity after Paleogene and compression torsion property have certain seal performance, which points out the direction for exploration of negative structural and slope buried hills. Based on the study of the migration ability of the fault connecting to oil source, it is believed that hydrocarbon can transport laterally along the fault under overpressure environment, which activates the exploration of buried hills without directly connections to source rocks. Based on the study of pressure system of hydrocarbon source and vertical transport ability of fault, it is proposed that hydrocarbon can migrate downward along the fault while being in block of migrating upward under the unfavorable environment of overpressure, which makes the exploration of buried hill under the source promising. Under the guidance of new understanding, Well Chengbei 313, Well Chengbeigu xie 14, Well Zhuanggu 65 and Well Chegu 27 have been successively drilled, and a series of hidden buried hill reser-

收稿日期:2020-05-15。

作者简介:马立驰(1973—),男,黑龙江绥化人,教授级高级工程师,博士,从事石油地质综合研究工作。E-mail:malichi.slyt@sinopec.com。
基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2016ZX05006)。

voirs have been discovered, by which new prospects for the exploration of the Lower Paleozoic buried hill in Jiyang Depression have been opened up.

Key words: Lower Paleozoic buried hill; fault seal; strike migration; downward migration; new understanding; new discovery; Jiyang Depression

济阳拗陷作为渤海湾盆地的次级构造单元,其底部的下古生界是重要的勘探层系。济阳拗陷下古生界潜山勘探从20世纪70年代初的义和庄潜山开始,目前已探明石油地质储量近 2×10^9 t,是胜利油田重要的产能建设阵地^[1-7]。2003年对济阳拗陷潜山勘探实践进行了系统总结,提出了断陷盆地多样性潜山成因、成藏与勘探理论,其成果获得国家科技进步二等奖。在该理论的指导下,圈闭条件好的烃源岩与储层直接对接型潜山、烃源岩在下储层在上的潜山圈闭不论风化壳油藏还是内幕型油藏、埋藏不论深和浅都已经进行勘探和开发^[5-7],潜山勘探面临的对象是更为复杂的隐蔽型潜山。近几年,中国潜山勘探特别是渤海湾盆地潜山勘探先后通过深化研究,取得了一定的进步^[8-12]。在济阳拗陷也通过潜山油气成藏条件的再认识,大胆探索,积极预探,先后发现了埕北313、埕北古斜14、桩斜169等一批以前不敢钻探的潜山圈闭,又展现出济阳拗陷潜山勘探的曙光^[13]。通过研究取得的新认识对推动渤海湾盆地潜山勘探具有重要的指导意义。

1 地质概况

济阳拗陷下古生界包括寒武系和下、中奥陶统,主要由碳酸盐岩构成,地层沉积厚度约为1 200 m,属于典型的海相沉积。该套地层受印支、燕山和喜马拉雅等构造运动改造,形成多个潜山块体。整体上,印支期北西向断层控制了潜山带的分布,形成埕岛-垦东、孤西、罗西等潜山断裂带;燕山期北东向断层切割潜山带形成多个潜山,如埕岛-垦东

潜山带被切割成埕岛、长堤、孤东、垦东等4个孤立的潜山;喜马拉雅期断层又将每个潜山进一步复杂化,形成一个个潜山块体。目前已钻井证实,济阳拗陷下古生界潜山中的油气都来自于古近系沙河街组,寒武系、奥陶系不具备生烃能力。古近系生成的油气主要是通过沟通油源的断层运移至潜山而聚集成藏。下古生界潜山储层有风化壳型和内幕型2种类型。风化壳型储层的风化壳厚度一般约为250 m,具体井的风化壳储层发育段厚度受井点处出露地层组段(岩性)、上覆地层层位(决定出露时间)、古地形高低等多个条件控制而有所差别。内幕型储层主要为冶里-亮甲山组白云岩地层发育组段,往往储集物性较好。已经发现的潜山油藏类型均为层状边水油藏,含油高度受多种条件限制,没有统一的含油高度。

2 圈闭有效性与地堑型、斜坡型潜山的勘探

2.1 潜山圈闭有效性的传统认识

目前济阳拗陷发现的下古生界潜山油气都集中在具有正向构造背景的潜山高部位。基于已经发现的油气,多年来反复认识逐渐形成了研究区下古生界潜山油气成藏模式(图1)。正向构造背景的地垒型潜山块体由于控圈断层的作用,潜山块体高部位一般侧向都与中生界对接,勘探实践证明研究区中生界一般物性较差,具有这种对接条件的潜山圈闭由于断层侧向封堵条件优越,因此圈闭有效性比较好(图1中a处)。负向构造背景的地堑型潜山

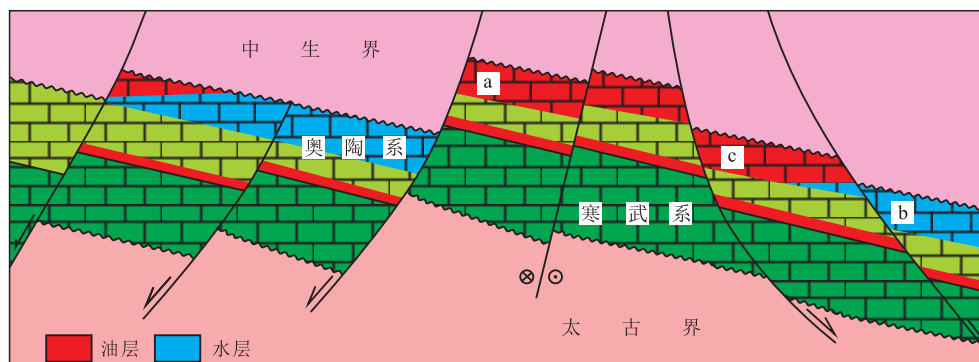


图1 传统的济阳拗陷潜山油气成藏模式^[13]

Fig.1 Traditional pattern of hydrocarbon accumulation of buried hills in Jiyang Depression^[13]

块体受两侧断层的控制,断层下降盘的下古生界潜山高部位与上升盘的下古生界地层低部位相接。勘探实践分析表明,下古生界风化壳型储层厚度一般约为250 m^[14],也就是说当断层的断距小于250 m时断层下降盘负向断块高部位与侧向上升盘圈闭的低部位通过断层连通,其圈闭有效性一般较差(图1中b处);当断距大于250 m,即断层上、下两盘潜山块体错开风化壳储层厚度时,潜山圈闭有效性才比较落实(图1中c处)。济阳拗陷已经发现的2×10⁹ t左右的探明石油地质储量都是在这种传统认识指导下发现的,且这种认识也是经过多口成功井和失利井钻探检验过的。随着勘探程度的提高,基于该认识分析未钻探的潜山圈闭,发现基本上都是由圈闭有效性不落实而不敢钻探,致使济阳拗陷下古生界潜山勘探进入停滞期。

2.2 断层研究与圈闭有效性新认识

从济阳拗陷构造演化过程分析看,其主要经历了印支、燕山和喜马拉雅3期构造运动;印支期以南西-北东向挤压为主,燕山期以左行走滑为主,喜马拉雅期以右行走滑为特色。由于经历了多期拉张和走滑运动,现今表现为“残留”构造特征;特别是印支期的挤压叠加了后期的拉张和走滑作用,现今的断层性质到底以哪种性质为主在实际中很难界定。济阳拗陷断陷盆地在古近纪之后主要表现为拉张性质,以往的构造解释模型都是按照拉张模式建立的,所以认为分割各个潜山块体的断层为拉张性质而封堵性能较差。近期对断层结束活动时间和断层性质的研究发现,下古生界地层中的部分断层具有一定的封堵性能。从断层结束活动时间看,可以分为燕山期之后不活动的断层、古近纪之后不活动的断层、新近纪活动的断层3大类。燕山期之后不活动和古近纪之后不活动的断层在潜山中发育比较普遍。这2种断层由于后期活动较弱,胶结充填作用较强,具有一定的封堵能力。从断层性质分析看,北东走向的断层比较直立,表现为走滑压

扭性质,特别是济阳拗陷东部靠近郯庐断裂附近这种现象较为普遍。综合研究认为北东走向、古近纪之后停止活动、压扭性质的走滑断层具有一定的封堵性能,如果其具备一定的封堵作用,则无论正向构造背景的地垒型潜山还是负向构造背景的地堑型潜山,只要圈闭落实,油气均可成藏。

2.3 埕北313井的成功与地堑型潜山的勘探

在认识到北东走向、古近纪之后不活动、走滑压扭性质的断层具有封堵性能后,笔者对济阳拗陷下古生界潜山开展了新一轮系统评价。发现埕岛-桩海地区没有井钻遇的、按照传统认识认为圈闭有效性不好的负向构造带和斜坡带具有一定的勘探潜力,通过优选部署钻探了埕北313井(图2)。该井位于埕北306和埕北302断块中间低部位。埕北313圈闭西部构造高部位通过埕北302断层,对接埕北302潜山寒武系下部泥岩相对发育地层,侧向圈闭条件较好;但埕北313圈闭东部构造高部位通过埕北306断层对接埕北306断块低部位。如果埕北306断层封堵性不好,埕北313潜山圈闭就会因为圈闭有效性不好而失利。而埕北313并于4 164.15~4 270.2和4 164.15~4 357.0 m井段试油分别获得日产油量61.1,325 t/d和日产天然气量15 055,10 823 m³/d。该井的成功打破了济阳拗陷下古生界碳酸盐岩潜山油气成藏的传统模式,证实北东走向、古近纪之后停止活动、走滑压扭性质的断层具有封堵性。该认识展现出了济阳拗陷负向构造型潜山勘探的希望。

2.4 埕北古斜14井的成功与斜坡型潜山的勘探

在对断层封堵性认识提高的基础上,基于埕北313井钻探成功获得的启示,笔者重新审视斜坡带潜山圈闭,获得2点启示:①由于斜坡带发育的老断层后期抬升剥蚀夷平顶面没有断距,以往认为其圈闭条件不落实,而没有解释这类断层,现在分析认为这类断层能够形成有效圈闭。②当控制潜山圈闭的断层具有走滑压扭性质时,其圈闭有效性也同

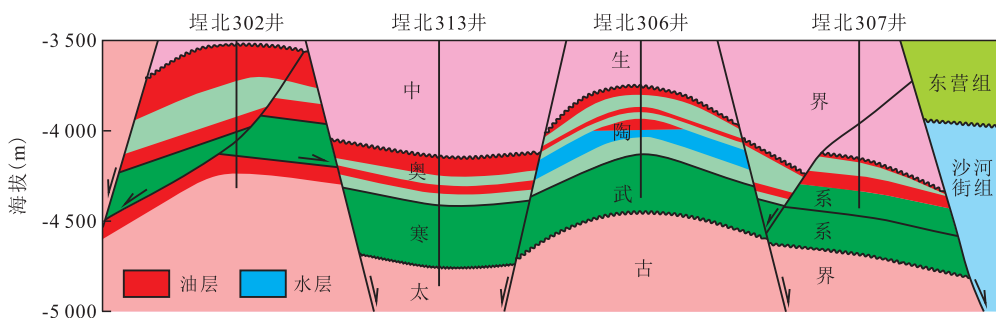


图2 埕岛地区埕北313潜山油藏剖面^[13]

Fig.2 Buried hill oil reservoir cross-section of Well Chengbei 313 in Chengdao^[13]

样优越。在对构造重新解释和分析圈闭有效性的基础上,在埕岛地区东部斜坡带部署钻探了埕北古斜14井。该井于上马家沟组3 792.00~3 938.56 m井段10 mm油嘴放喷求产,日产油量为52 t/d。埕北古斜14井的成功打破了下古生界斜坡型潜山圈闭有效性不好的认识,使斜坡型潜山成为下一个重要的勘探战场。

3 断层输导能力与走向运移型输导方式下潜山的勘探

3.1 潜山油气输导方式的传统认识

经过几十年的勘探实践证实,济阳拗陷下古生界潜山发现的油气均来自古近系,一般以沙三段油气为主。沙三段的油气进入潜山一般有源储对接型和源下储上型2种油气输导方式。源储对接型是指潜山圈闭通过断层与沙三段烃源岩直接对接,油气通过断层直接进入潜山圈闭中,这种对接方式的成藏条件最为有利(图3a)。源下储上型是指生烃中心在下部,潜山在烃源岩上部,油气通过控山断

层向上运聚至潜山圈闭中成藏。济阳拗陷发现的绝大多数潜山油藏都是源下储上型油气输导方式(图3b)。具备上述2种油气输导方式的潜山圈闭,只要圈闭条件落实,目前基本都已经进入勘探开发阶段。现在评价的潜山圈闭,都是不具备上述2种运聚条件而认为没有油源条件的潜山,因而一直没有钻探。

3.2 断层走向输导的油气运移新认识

济阳拗陷下古生界断层走向输导运聚油气成藏最典型的实例为埕北20潜山带。该潜山带处于埕岛潜山中,其东、西、南部均没有油气供给,只有北部的沙南凹陷为主要供烃单元。目前已钻井的油-源地化指标对比结果证实,其油气来源于北部沙南凹陷。分析埕北20潜山带与沙南凹陷关系认为,两者之间没有北掉的源储侧向对接的断层,只发育一条南北走向的横切潜山插入至沙南凹陷的断层。目前发现的油气沿埕北20断层自北向南的变化规律比较明显,含油高度由北部埕北古4井的230 m过渡为南部埕北古406井的40 m,同时气油比逐渐增高。这些证据表明研究区下古生界内部断层具备沿断面走向运移油气的能力。

在埕北20断层油气运移能力的启示下,笔者对长堤潜山也开展了相应的研究工作。长堤潜山位于济阳拗陷东部,东临黄河口凹陷。该区目前发现的油气主要赋存在新近系,地化分析结果表明其油气主要来自黄河口凹陷。长堤潜山东部发育一条南北走向、东掉的控山断层,该断层长10多公里,一直活动至新近纪,目前研究发现其为一条大型的油源断层。长堤潜山东西方向通过这条断层与黄河口凹陷沙三段烃源岩相接的是中生界,也就是说下古生界在其对接处位于烃源岩下部,没有直接对接关系。黄河口凹陷生烃层系沙三段的最大埋深为5 400 m,长堤潜山下古生界埋深大多在5 400 m以上,只是对接处源储关系不好,但仍位于烃源岩埋藏底界之上。分析认为,长堤潜山东部的油源断层如果具备走向运移能力的话,可以自北向南横向运移油气至南部构造部位稍高一点的潜山圈闭中聚集成藏;另外长堤潜山内部还发育2条东西走向、活动至古近纪的断层,这2条断层与南北走向的控山断层相接,组成了一个立体空间输导体系,油气首先自北向南运移,在其运移过程中遇到东西向断层再自东向西运移,从而构成一个由3条不同方向断层组成的油气输导网络,如果该网络具备横向输导能力,则长堤潜山下古生界即为潜在的油气勘探战场(图4)。同时通过调研中海油资料发现,黄河口

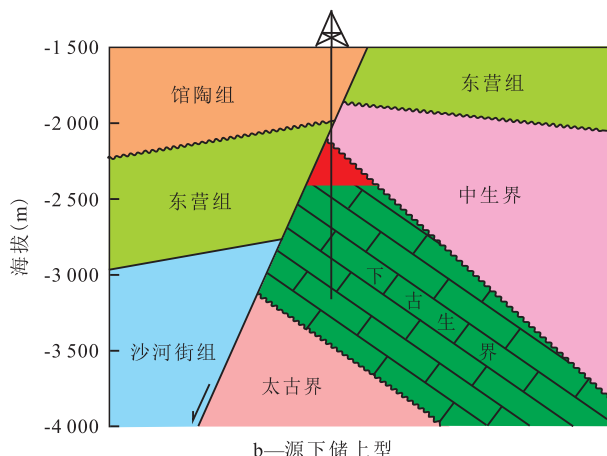
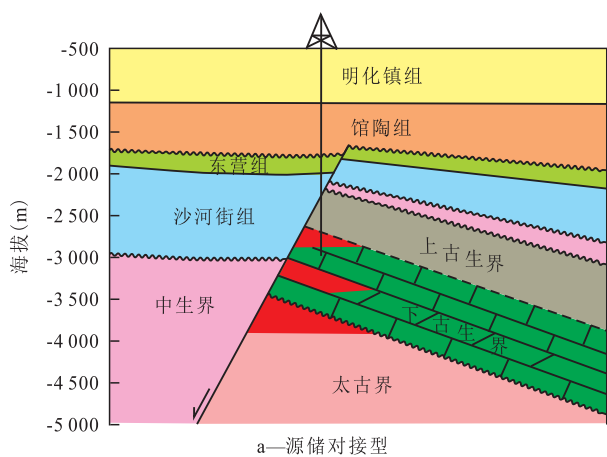


图3 济阳拗陷潜山传统油气输导方式

Fig.3 Traditional ways of hydrocarbon transport of buried hills in Jiyang Depression

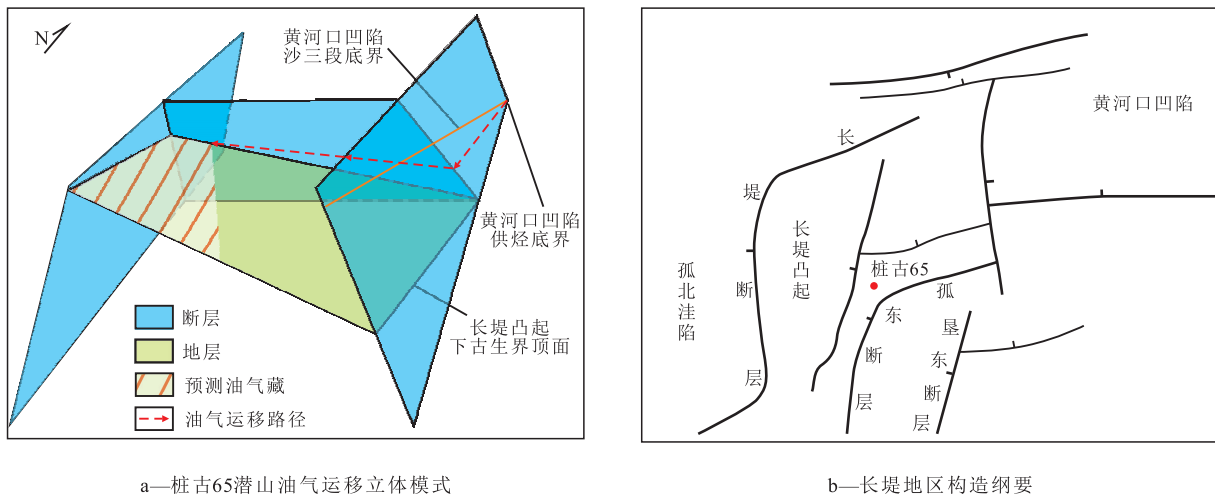


图4 长堤地区桩古65潜山油气输导网络示意

Fig.4 Schematic of buried hill hydrocarbon transport network of Well Zhuanggu 65 in Changdi zone

凹陷沙三段生烃中心的地层压力系数最大可达1.78,在这种超压环境下油气具备充足的横向运移能力^[15]。

3.3 桩古65井的成功与走向运移型输导方式下潜山的勘探

通过对长堤地区主要断层空间匹配关系和活跃性的研究,认为其具备一定的走向运移能力,因此大胆钻探了风险探井桩古65井。该井于4 088 m 钻遇油气显示,从而证明不同断层构成立体油气输导网络的走向运移输导方式的存在。根据这种输导方式笔者重新审视济阳拗陷的潜山发现,孤西断裂带向东的二、三排山可通过东西向断层与渤南洼陷沟通,义和庄潜山西部的潜山圈闭可通过东西向断层与四扣洼陷沟通,高青潜山圈闭可以通过东西向断层与博兴洼陷沟通,从而这些按照传统油气输导模式分析的没有油源条件的潜山圈闭成为下步重点勘探的地区。今后要重点加强针对这些断层的性质、活动时期与油气成藏期的匹配、断层活动速率以及成岩演化的研究,以提高钻探的成功率。

4 油气倒灌运移与烃源岩之下潜山的勘探

4.1 烃源岩之下潜山勘探潜力的传统认识

目前世界范围内发现的绝大多数油气藏不是源储直接对接,就是源下储上油气向上运聚成藏。经过几十年的勘探,济阳拗陷潜山勘探一直秉承只要潜山圈闭在烃源岩之上就可成藏的观点进行了大胆的勘探开发。其实还有一类潜山一直在探索视线之外,那就是埋藏在烃源岩之下的潜山圈闭,

这类潜山要成藏,就需要油气倒灌运移。对于油气向下倒灌充注成藏问题,目前有很多学者进行了论述,付广、史集建等持支持观点的学者认为在烃源岩存在超压背景、断层输导体系存在的地质条件下,烃源岩生成的部分油气可以发生向下倒灌运移进入烃源岩之下的储层中聚集成藏^[16-19]。

4.2 油气倒灌运移与潜山成藏可能性分析

车镇凹陷位于济阳拗陷西北部,为一典型的北断南超的箕状断陷盆地,其东西长、南北窄。凹陷北部通过埕南大断层与埕子口凸起相连接,南部为缓坡逐渐过渡至凸起。北部埕南大断层下降盘发育一系列受次级断层控制的、平行于埕南断层东西向分布的潜山带,目前已经发现了车古20、车古57等潜山油藏,已经上报探明石油地质储量 $3\ 300 \times 10^4$ t。虽然该潜山带已经发现了油气聚集,但是从源储关系看,该潜山带有很多潜山的顶面埋深大于沙三段烃源岩的底界埋深,因而由于没有油气输导条件而排除在勘探视线之内。

在油气倒灌运移观点的启示下,笔者重新对车镇凹陷西部车西次洼油气与潜山输导聚集关系进行了研究。第一,车西次洼沙三段发育了巨厚的暗色泥岩,在其下部主要以泥页岩为主,也就是说沙三段下亚段是车西次洼的主力生烃层段。通过已钻井地层压力分析发现,该区生烃期地层压力系数最大可达1.8^[16],具有非常明显的超压特征,为油气运移提供了强大的动力。第二,车西次洼沙三段中上亚段只有靠近埕南断层处的砂砾岩体比较发育,但这些砂砾岩体主要为碳酸盐岩母岩类型,物性相对较差,该组段内其他地区主要以泥岩为主,厚度可达800~1 500 m,这种组合条件限制了油气的

纵向运移。第三,研究区沙三段内部发育的断层,特别是切穿沙三段及其以上地层的后期活动的断层极不发育,这种断裂发育条件不利于研究区下部油气向上纵向输导。第四,研究区潜山内部发育了一些老断层,后期复苏继承性发育,能够沟通沙三段下亚段烃源岩,为油气向下输导提供了一定的有利条件。第五,目前发现的潜山油藏的地层压力系数基本约为1.0,远远低于该区沙三段烃源岩内部的地层压力系数。综上所述认为,车镇北部潜山带油气具备向下倒灌运移的条件。

4.3 车古27井的成功与烃源岩之下潜山的勘探

在对车镇北部下古生界潜山油气倒灌运移条件分析的基础上,对研究区圈闭条件重新落实,优选车古27潜山圈闭进行了钻探部署(图5)。车古27井于古生界4 919 m钻遇油斑显示,通过对油砂样品进行抽提并进行地化分析发现,其生物标志化合物特征与沙三段下亚段具有亲缘关系,为沙三段下亚段的贡献。车古27井的发现,证实了车西次洼的油气可以在高压条件下向下倒灌进入古生界潜山运移成藏,从而打开了车镇凹陷北部潜山的勘探

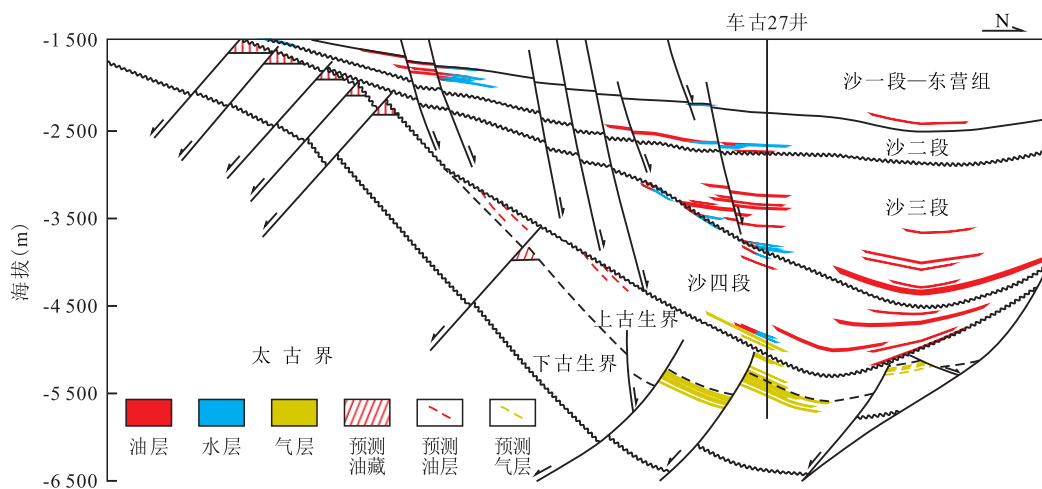


图5 车镇地区车古27潜山油藏剖面

Fig.5 Buried hill oil reservoir cross-section of Well Chegu 27 in Chezhen

空间。构造精细解释结果表明,车镇北部潜山带的有利圈闭面积为24 km²,圈闭资源量为2 000×10⁴ t以上,具有一定的勘探潜力。

5 结论

通过对济阳坳陷下古生界构造演化特征以及断层性质、结束活动时间、后期成岩演化充填等特征进行分析,认为北东走向、古近纪之后不活动、压扭性质的走滑断层具有一定的封堵性。这个认识突破了早期建立的传统下古生界潜山油气成藏模式。在新认识的指导下,发现靠近郯庐断裂带的济阳坳陷东部地区下古生界潜山圈闭条件优越,其发育的地堑型和斜坡型潜山圈闭均为有利的勘探目标。

济阳坳陷勘探实践表明,下古生界潜山中的部分断层具有沿断面走向运移油气的能力。该认识突破了源储对接和源下储上型传统油气输导模式,使圈闭落实、油源条件缺乏的潜山圈闭的油气充注成为可能。具有走向运移背景的潜山圈闭将会是

未来济阳坳陷潜山重要的预探方向。

济阳坳陷以车镇凹陷为代表的部分地区的潜山圈闭发育条件较好,生烃灶具有超压特征,同时其油气向上运聚条件差,超压的存在能够促使油气向下倒灌运聚成藏。这类油气运聚方式下的潜山圈闭是济阳坳陷下古生界下一步风险勘探的目标。

参考文献

- [1] 马立驰. 济阳坳陷碳酸盐岩潜山油气藏勘探技术综述[J]. 石油学报, 2004, 25(6): 44-47.
MA Lichi. Overview of exploration techniques for carbonate buried-hill reservoirs in Jiyang Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(6): 44-47.
- [2] 马立驰. 胜利油田下古生界碳酸盐岩潜山勘探核心技术[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 72-74.
MA Lichi. Key exploration techniques for the Lower Paleozoic carbonate buried-hills, Shengli Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 72-74.
- [3] 李丕龙, 张善文, 王永诗. 多样性潜山成因、成藏与勘探——以济阳坳陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 4-83.
LI Pilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi. Diversity buried hill formation, accumulation and exploration—case study of Jiyang

- Depression[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 4-83.
- [4] 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 3-10.
LI Pilong, ZHANG Shanwen, SONG Guoqi, et al. Forming mechanism of subtle oil pools in fault basins—Taking the Jiyang Depression of the Bohaiwan Basin as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(1): 3-10.
- [5] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究——以济阳拗陷为例[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 28-31.
LI Pilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, et al. Multiplex buried-hill genesis and pool-forming in rifted basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 28-31.
- [6] 单宝杰, 徐刚, 刘魁元. 滑脱型潜山成藏研究——以沾化凹陷渤深6潜山为例[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 65-68.
SHAN Baojie, XU Gang, LIU Kuiyuan. Oil accumulation in decollement buried hill: A case of Bonan deep-well6 buried hill in Zhanhua Depression[J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(1): 65-68.
- [7] 马立驰, 王永诗, 吕建波. 济阳拗陷下古生界潜山内幕油气藏勘探[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 26-27.
MA Lichi, WANG Yongshi, LÜ Jianbo. Exploration on internal pool of buried hill in lower Palaeozoic group of Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 26-27.
- [8] 赵贤正, 金凤鸣, 崔周旗, 等. 冀中拗陷隐蔽型潜山油藏类型与成藏模拟[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 137-143.
ZHAO Xianzheng, JIN Fengming, CUI Zhouqi, et al. Types of subtle buried-hill oil reservoirs and their accumulation simulation in Jizhong Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 137-143.
- [9] 曹兰柱, 莫午零, 王建瑞, 等. 从霸县凹陷的重大突破看廊固凹陷的勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(6): 28-34.
CAO Lanzhu, MO Wuling, WANG Jianrui, et al. Major breakthrough in Baxian depression indicates exploration potential of Langgu depression [J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17(6): 28-34.
- [10] 赵贤正, 张锐锋, 田建章, 等. 廊固凹陷整体研究再认识及有利勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(6): 10-15.
ZHAO Xianzheng, ZHANG Ruifeng, TIAN Jianzhang, et al. The further research and favorable exploration direction of overall analysis in Langgu depression [J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17(6): 10-15.
- [11] 杜金虎, 赵贤正, 张以明, 等. 牛东1风险探井重大发现及其意义[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(1): 1-7.
DU Jinhu, ZHAO Xianzheng, ZHANG Yiming, et al. Great discovery made in risk exploration of Niudong1 well and its significance [J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17(1): 1-7.
- [12] 黄婕, 于仁江, 孙景民, 等. 长洋淀潜山雾迷山组油气成藏规律再认识[J]. 资源与产业, 2008, 10(3): 118-121.
HUANG Jie, YU Renjiang, SUN Jingmin, et al. Study on oil-gas reservoir geology of Wumishan Formation in Changyangdian buried hill [J]. Resources & Industries, 2008, 10(3): 118-121.
- [13] 马立驰, 王永诗, 景安语. 渤海湾盆地济阳拗陷隐蔽潜山油藏新发现及其意义[J]. 石油实验地质, 2020, 42(1): 13-18.
MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu. Discovery and significance of subtle buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 13-18.
- [14] 马立驰, 王永诗, 姜在兴, 等. 断陷盆地碳酸盐岩潜山储层模式——以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 21-24.
MA Lichi, WANG Yongshi, JIANG Zaixing, et al. Reservoir model of carbonate buried-hill in rifted basin—Taking the Jiyang Depression as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(1): 21-24.
- [15] 陈美玲, 潘仁芳, 潘进. 黄河口地区中深层超压成因机制及分布规律研究[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(7): 8-11.
CHEN Meiling, PAN Renfang, PAN Jin. On overpressure generation mechanisms and distribution rules at mid-depth formation in Huanghekou region [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(7): 8-11.
- [16] 向立宏, 王学军, 郝雪峰, 等. 车西洼陷油气倒灌运移成藏条件研究[J]. 海洋石油, 2013, 33(2): 42-47.
XIANG Lihong, WANG Xuejun, HAO Xuefeng, et al. The study of reservoir forming conditions about HC migration downward in Chexi Sag [J]. Offshore Oil, 2013, 33(2): 42-47.
- [17] 付广, 高倩. 凹陷区边部上生下储式油成藏主控因素及模式——以松辽盆地肇41—州58区块葡萄花油层为例[J]. 特种油气藏, 2010, 17(4): 15-17.
FU Guang, GAO Qian. The main controlling factors and pattern of “upper source-lower reservoir” on depression edge: A case study with the Putaohua reservoir in Zhao41-Zhou58 Block of Songliao Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(4): 15-17.
- [18] 史集建, 付广, 李丽丽. 滨北地区青一段油气向下“倒灌”运移距离和层位的定量研究[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(1): 26-29.
SHI Jijian, FU Guang, LI Lili. The quantitative research of the downward migration distance and target horizons of K_1qn_1 oil and gas in Binbei area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(1): 26-29.
- [19] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 3版. 北京: 石油工业出版社, 2004: 19-26.
LI Mingcheng. Oil and gas migration [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 19-26.