

文章编号:1009-9603(2019)01-0029-08

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2019.01.003

西加拿大盆地与济阳拗陷页岩油气成藏条件对比分析及启示

张守鹏

(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:通过对西加拿大盆地页岩油气藏地质条件的分析,发现中国东部济阳拗陷页岩油气成藏条件具备与之可对比的3个特点。一是西加拿大盆地页岩油气储层的沉积环境多为海相,页岩分布范围广、均质性好,在落基山脉(南北轴向)向东侧翘倾的整个前陆盆地范围内形成了一个大范围的储集背景;而济阳拗陷页岩层多为陆相湖泊成因,具有典型的分隔-孤立盆地背景,沉积层完整,源-汇对称吻合度高。二是西加拿大盆地海相页岩生烃母质存在2种类型,Ⅰ型和Ⅰ-Ⅱ型干酪根多来源于海洋浮游生物藻类,Ⅱ-Ⅲ型干酪根多来源于陆表海环境沉积的孢子花粉;而济阳拗陷陆相页岩的生烃母质以Ⅰ-Ⅱ型干酪根为主,多为浮游生物轮藻、沟鞭藻、颗石藻等。三是在西加拿大盆地泥盆系沉积层中普遍见到有机质热演化孔,岩石密度较低;而在济阳拗陷的页岩中则少见该类孔隙,且由于页岩层处于成岩中-晚期而呈致密结构。此外,西加拿大盆地与济阳拗陷页岩油气的开发条件也存在较大差异,西加拿大盆地页岩地层中含有比例较大的长英质刚性颗粒,岩石脆性、可压性等工艺-地质条件较好;而济阳拗陷页岩组分中多含硬度较低的碳酸盐矿物,刚性颗粒含量极低,难以建立后期压裂投产所必备的支撑结构。济阳拗陷陆相页岩油气的“甜点”应聚焦于韵律层理缝隙带、曲率变化形成的不规则裂缝及矿物结晶和有机质热解形成的微-纳米孔。

关键词:页岩油气;成藏条件;差异;西加拿大盆地;济阳拗陷

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Enlightenment from the comparative analysis of shale oil and gas accumulation conditions in Western Canadian Basin and Jiyang Depression

ZHANG Shoupeng

(Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company,
SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: Through the analysis of the geological conditions of shale oil and gas reservoirs in Western Canadian Basin, it is found that the oil and gas enrichment conditions in Jiyang Depression have three comparable characteristics. First, the sedimentary environment of shale oil and gas reservoirs in Western Canadian Basin is mostly marine facies, in which the homogeneous shale distributes widely and forms a large accumulation in the whole foreland basin which tilts eastward in the Rocky Mountains (north to south direction). However, the shale reservoirs in Jiyang Depression are mostly form in continental lacustrine environment, which is the typical separated-isolated basin with complete sedimentary layers, and with high source-sink symmetry coincidence. Second, there are two types of hydrocarbon generating parent material in the marine shale of the Western Canadian Basin. Type I and Type I-Ⅱ kerogens are mostly from marine plankton and algae, Type Ⅱ-Ⅲ kerogens are mostly from spore pollen deposited in surface marine environment. While Type I-Ⅱ kerogens are the

收稿日期:2018-10-08。

作者简介:张守鹏(1963—),男,山东高青人,教授级高级工程师,博士,从事油气实验地质研究工作。联系电话:(0546)8715264, E-mail: zhangshoupeng_ff@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“济阳拗陷页岩油勘探开发目标评价”(2017ZX05049-004)。

major hydrocarbon-generating parent materials of continental shale in Jiyang Depression, and they are mostly from phytoplankton, dinoflagellates, coccolites, etc. Third, organic pores from thermal evolution is commonly developed in low-density Devonian sediments of Western Canadian Basin, while they are rarely found in shale of Jiyang Depression because the shale is in the middle-late stage of diagenesis and develops compact structure. In addition, the development conditions of shale oil and gas in West Canadian Basin and Jiyang Depression are quite different. The shale strata in Western Canadian Basin contain a large proportion of rigid felsic quartz particles, and the brittleness and compressibility of rocks are better, while the shale components in Jiyang Depression is comprised of more carbonate minerals with lower hardness. The content of rigid particles in Jiyang Depression is extremely low, and therefore it is difficult to establish the necessary supporting structure for later fracturing operation. The "sweet spots" of continental shale oil and gas should distribute in rhythmic bedding fracture zone, irregular cracks caused by curvature change, micro-nanopores caused by mineral crystallization and pyrolysis of organic matter in Jiyang Depression.

Key words: shale oil and gas; accumulation condition; difference; Western Canadian Basin; Jiyang Depression

随着北美页岩油气的开发动用和产能规模的不断扩大,长水平段多级分段压裂技术得到进一步应用扩展(目前已可以分级至70级,水平延伸长度突破5 km),页岩油气产量占比进一步提升,页岩作为一种新的储油气类型引发了全球的广泛关注,但西加拿大盆地页岩油气形成的地质条件和聚油背景与中国陆相页岩存在很大的差异。“十二五”期间开始针对中国东部大范围分布的陆相页岩能否形成油气聚集成藏以及是否具备工业化开采条件开展研究探索工作,力求通过与西加拿大盆地等北美地区成功页岩油气开发案例进行对比,明确中国陆相页岩层自身的地质特征、油气成藏规律以及符合开发的特定工艺条件,争取早日实现商业化开采。笔者依据对北美页岩油气勘探开发现状的调研,结合对西加拿大盆地页岩油气地质资料和岩心观察结果的分析,以中国胜利探区济阳坳陷为主要目标,对两国页岩油气成藏条件进行对比分析。

1 西加拿大盆地页岩油气勘探开发历史与现状

西加拿大盆地页岩油气勘探开始于1930—1945年,期间投入探井多达200余口,以空井居多。1946—1960年,发现并落实了泥盆系以生物礁边缘为背景的页理状岩性油气藏。1970—1990年,在白垩系发现了页岩气田。从2000年至今,亦逐渐发现了一些浅层气、煤层气和纯泥岩气储量^[1-10]。

晚古生代,落基山地区沉积了广布的海相碳酸盐岩层,该时期的沉积物中不仅残留大量的浮游生物残体,还发育大量来自陆源的孢子花粉^[11],这2种干酪根类型都是生烃的主要来源^[12]。泥盆系页岩层是西加拿大盆地主要的烃源岩系,储层为烃源岩

上、下分布的生物滩相碳酸盐岩和泥、粉砂质碳酸盐岩^[13-15]。页岩本身发育大量的生物有机质孔隙,提供了丰富的储油气场所,且后期地层发生倾斜,岩石覆压受到分解,页理层内流体压力降低,塑性回弹造成岩石孔隙度进一步增加,因此整个倾斜带具备大面积的储集背景^[16-17]。

西加拿大盆地页岩以产气为主,其页岩气资源非常丰富,主要分布在不列颠哥伦比亚省东北部Horn River盆地中泥盆统、三叠系Montney组、阿尔伯达省与萨斯喀彻温省白垩系Colorado群、魁北克省奥陶系Utica组、新布伦斯威克省与新斯科舍省石炭系Horton Bluff组等。加拿大非常规天然气协会(CSUG)最新资源评价结果显示,加拿大页岩气的原地资源量大于 $42.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[18]。成熟烃源岩分布范围遍布西加拿大盆地,油气成藏模式较为复杂,多呈背斜侧翼岩性-流体封闭型油气藏,且常出现非常规的“水封油”或“水封气”等倒置关系的油气藏。随着开发程度的加深,剩余储量及优质储量均减少^[19];其中,相对厚层、高阻、高孔、高渗透的产气层大都开发程度较高,边缘区域物性条件相对较差的产层开发程度偏低。

2 西加拿大盆地与济阳坳陷页岩油气成藏条件对比分析

2.1 地质背景的差异

中生代早期,受东太平洋板块俯冲作用的影响,落基山地区海相地层逐渐发生倾覆掀斜,落基山隆起开始形成,并呈NNW—SSE向展布。隆起的东北部开始下沉形成前陆盆地,西加拿大盆地逐渐脱离海洋环境,先期物源来自东北方向已经发生抬升的老地层,随着落基山隆起的逐渐抬升,西部也

开始向盆地供给物源。盆地深洼部位泥盆纪的深埋作用促进了富有机质的热演化,泥盆系深部泥页岩成为优质的烃源岩,而上倾方向的地层由于埋藏变浅、密度变小、孔隙发育,尤其是部分生物礁灰岩和后期沉积的大套中生界碎屑岩成为油气聚集成藏的主要场所(图1)。与济阳拗陷不同的是,西加拿大盆地中所谓的“盆地”均是处于大范围前陆盆地的相对洼地,并不具备济阳拗陷盆地的典型结构特征,地层分布与洼地周缘具有对接性。济阳拗陷主要为中—新生界沉积,深部泥盆系普遍缺失,以湖相地层为主要的生、储油气层系。

从全球背景分析,中、古生界海相地层是最优

质的烃源岩,中国古生界海相碳酸盐岩主要分布于新疆塔里木盆地和南方地区,据此作为寻找海相成油大背景的关键是看该类地层在地质历史中的生、储域变化及构造演化过程是否有利于油气的生成和保存^[20]。落基山南北向地质构造(单向隆起)延伸距离长,海相地层十分发育,前陆盆地整体处于“大储集背景”,油气聚集的关键不是盆地(相对洼陷区),而是针对“大储集区”的圈闭和遮挡条件。因此,非常规油气藏不是孤立的概念,其中亦含有多个油气成藏的常规因素。根据现有资料分析,西加拿大盆地有效储层的埋深约为2 000 m,处于有机质高演化阶段;济阳拗陷诸盆地的储层埋深多集中

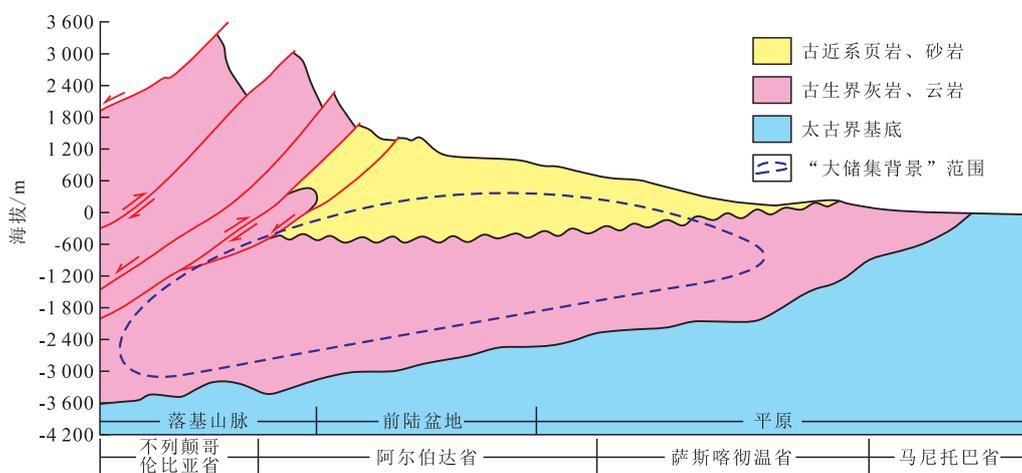


图1 西加拿大盆地(前陆盆地)“大储集背景”地质剖面

Fig.1 Geological profile of “Great Storage Background” in Western Canadian Basin (Foreland Basin)

在3 500 m左右,有机质演化程度却相对较低。

2.2 生烃母质的差异

西加拿大盆地的页岩油气主要有2种类型,一是在以泥盆系为主的页岩内部形成原位油气聚集,以I型和I—II型干酪根为主;二是中生界孢子花粉热演化形成的腐殖型油气藏,以II—III型干酪根为主;前者在生油窗内既有自生气(生物气)的生成,也有液态烃的大量生成,而后者多直接形成气藏(图2)。形成生物气的I型干酪根主要来源于湖泊藻类,例如绿河页岩,仅形成于缺氧湖泊及一些特殊的海洋环境。形成腐殖气的II和III型干酪根具有不同的来源,如海藻、花粉、孢子、叶蜡以及化石树脂等,也包括来自细菌细胞脂质的贡献;由于II和III型干酪根的氢含量相对偏低,因此产生液态烃的能力偏弱。

目前西加拿大盆地储量最大的气田为中生界砂岩型气,由于其母质类型属于腐殖型干酪根,烃源岩在热演化过程中可能没有生油过程,直接生成天然气进而聚集成藏。砂岩型气一般正常试采即

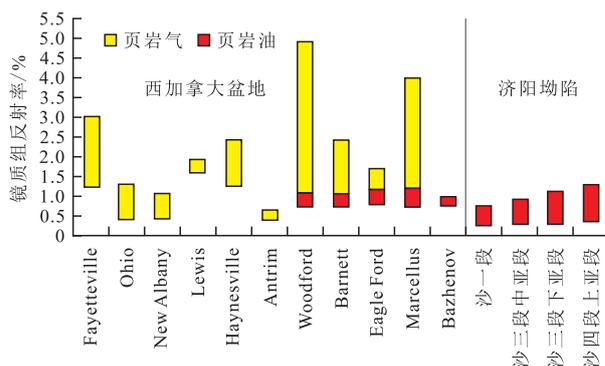


图2 西加拿大盆地与济阳拗陷不同层系干酪根演化程度对比

Fig.2 Comparison of kerogen evolution in different strata of Western Canadian Basin and Jiyang Depression

可获得高产(25 000 m³/d以上),而页岩气则须采取分段压裂开采。尽管在西加拿大盆地发现了大规模的页岩气田,但北美天然气价格与油价相比过低,因此对页岩气开发并未投入应有的规模,仍具有较大的潜力空间。

济阳拗陷页岩油气的生烃母质类型多为以咸化环境藻类及附属有机组分形成的II型或I—II

型干酪根,济阳拗陷沙四段上亚段、沙三段下亚段和沙一段发育的近千米(累积厚度)页岩层均属于陆相湖泊低能咸化沉积环境的产物,是胜利探区的主要烃源岩层系。这些都有别于西加拿大盆地页岩气的烃源岩类型。目前中国含油气区分布的大面积陆相页岩层处于生油阶段,是东部油区的主力烃源岩,其发育的页理为原油溢出烃源岩进入储层提供了输导路径,且其成层性和延展性亦有利于进行分段压裂增产。因此,中国的陆相页岩油气有其自身特点,科学规划与部署是实现全面动用的关键。

2.3 储集条件的差异

与洛基山东北部前陆盆地形成的“大储集背景”相比,在济阳拗陷五十多年的勘探历程中,页岩层系一直作为烃源岩的目标区进行勘探评价与部署,是陆地资源量计算、生烃潜力评价、油源对比的主要靶区,而很少考虑在页岩中直接寻找储层和油气藏。北美海相页岩油气的大规模动用,对中国陆相页岩油气的开发利用提供了启示和范例^[21-25],但

二者的油气藏储集空间类型却存在本质的区别。胜利油区目前有37口探井在泥页岩层中获得了工业油流,渤南洼陷的罗42、新义深9及东营凹陷的河54、永54等近10口井的累积产量过万吨,但针对页岩层部署的专探井却未取得理想的产油效果;因此可以看出,陆相页岩油气富集区的主控因素尚未落实。一些观点认为,中国东部大面积分布的古近系陆相页岩的压实程度高、岩石致密、储层物性条件差,尚不具备聚集油气的条件^[26]。近几年针对胜利油区页岩层系完钻5口专探井,对3个页岩层段进行了压裂试油,其中渤页平2井借鉴西加拿大盆地开采方式,采取长水平段压裂,但尚未获得工业油流;因此,页岩油气“甜点”形成的岩性、物性、含油性等主要参数特征是下一步探索的重点。

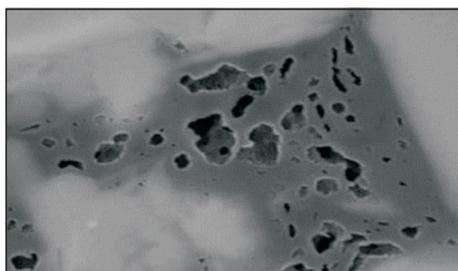
镜下薄片特征显示,西加拿大盆地海相页岩发育的生物微孔(伴有结晶孔)和有机质热演化形成的残余微-纳米孔是页岩油气富集的主要场所。而济阳拗陷陆相页岩结构致密(图3),均未发现这两类孔隙的规模化发育区,部分页岩高产井的储集空间



a—海相页岩层理结构
(西加拿大盆地)



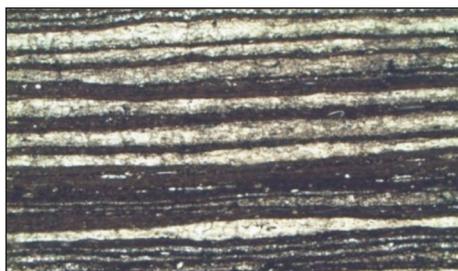
b—海相页岩层理状灰岩的含油性
(西加拿大盆地)



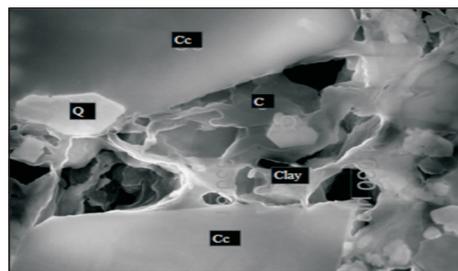
c—海相页岩基质内的有机孔
(西加拿大盆地)



d—海相页岩内植物碎片残留孔
(西加拿大盆地)



e—偏光镜下的陆相页岩层理结构
(济阳拗陷)



f—陆相页岩基质内的矿物结晶孔
(济阳拗陷)

图3 西加拿大盆地与济阳拗陷页岩储层含油性与孔隙结构对比

Fig.3 Comparison of oil content and porosity structure of shale reservoir in Western Canadian Basin and Jiyang Depression

被认为是断裂带附近发育的裂缝储油系统或隐蔽的条带状砂岩夹层、结晶云岩层。

3 济阳拗陷页岩油气“甜点”的形成与富集规律

西加拿大盆地页岩油气分布于海相地层,其延伸范围及厚度的叠加规模均呈现大而广的特点,这也是海相油气田开采周期长、产量递减慢的主要原因。济阳拗陷陆相页岩受沉积时的湖泊古地理环境控制,同一岩相的分布范围受限,而受控于岩性的储集空间更是难以形成规模;但济阳拗陷页岩油富集有其自身特点:目前已明确有3种储集空间类型可以形成工业油气流聚集,即韵律层理缝隙带、曲率变化形成的不规则裂缝及矿物结晶和有机质热解形成的微-纳米孔,且这3种储集空间类型已被证实具有一定的规模化分布。

3.1 韵律层理缝隙带

沉积、欠压实作用和地层倾角决定了页岩韵律层理缝隙的张开程度和发育程度。不同气候环境和水动力条件形成的沉积层(密集层)是由若干个不同的岩性超薄层组成的,相邻2种岩性组成1对层耦^[27],已发现有灰-泥、云-泥、灰-云、碳-泥、灰-凝、菱-云、云-粉砂、晶-泥、膏-灰等相互组合的几十种层耦类型。塑性较强的2组岩性形成层耦的间隙空间不发育,如泥-凝层耦;刚性较强的2组岩性形成层耦的间隙空间相对较发育,如云-粉砂等层耦。

粉砂质薄互层和准同生白云岩化形成的页岩储存了较多的原始地层水,在埋藏过程中具有一定的抗压实作用,韵律层理缝隙得以保存,油气亦易于在其中储存下来。岩心中常见在有利层耦的缝隙间和薄层砂质条带、云质条带内有油气显示(有时需借助荧光分析设备才能检测到)。气候和干湿条件是不同层耦形成的控制因素,砂质条带、云质条带则与沉积水体的微动力条件及埋藏后大气淡水的活动浸出带相关,而形成工业油气富集须具备规模化发育的韵律层理缝隙带。通过岩心观察描述,标定出牛页1井规模化发育的韵律层理缝隙带的垂向顶、底界,在岩心横切剖面上,发现开启的层裂缝与垂直裂缝交错分布,发育段累积厚度超过20 m。

3.2 曲率变化形成的不规则裂缝

沉积初期页理面基本为水平状态,随着埋藏压

实作用的进行,水平层理面受构造底形的影响出现曲率变化。而薄互层之间有的呈脆性,有的呈塑性;脆性层面易被折曲产生不规则裂缝(或称龟裂缝),一旦这些缝隙形成规模(受控于应力场范围的大小),则易形成储集空间进而聚集油气。

通过岩心分析发现,樊页1井沙三段下亚段页岩由于曲率变化形成不规则裂缝。该井位于博兴与牛庄洼陷之间的微幅隆起区,页岩层在后期埋深压实过程中受到明显的上拱作用,脆性灰质层面被大曲率面折断形成分布较集中的裂缝系统。由于济阳拗陷该种古隆起分布较为普遍,因此页岩中该类储集空间形成的“甜点”有较大的潜力空间。

3.3 矿物结晶和有机质热解形成的微-纳米孔

矿物结晶孔主要出现于晶质化白云岩层和自形晶黏土晶格间,其分布较普遍,但富集规模不确定。有机质微孔则不甚发育,零星出现。由于这两类孔隙的孔径较小,常用微纳米尺度度量,因此也称作微-纳米孔。微-纳米孔是否具备形成规模化的条件,尚需结合岩石学成因进行分析。

根据亚离子抛光-扫描电镜图像分析,在利页1、牛页1和樊页1井泥页岩取心段均发现多个微-纳米孔富集段。一部分孔隙为顺层白云岩化加溶蚀作用而形成,为沉积初期弱固结状态时沿层理缝活动的淡水和深埋期酸性水参与的结果;另一部分孔隙为自生黏土矿物间的晶格间孔,尤以高岭石晶间孔最为发育,是进入生烃门窗深度后有机酸参与的结果。

3.4 页岩油富集规律

通过对济阳拗陷30余口井岩心、岩屑的复查,结合测井解释结果分析发现,东营-沾化凹陷陆相页岩油发育丰富的页理缝隙,其在正常成岩压实作用下高度闭合。页岩中生成的油气在上覆岩石的高强度压实作用下,从盆地腹地通过页理缝隙向盆地周缘的砂岩体运移成藏。在运移过程中遇到断层则沿断层面运移,形成断块油藏。一般情况下,油气多聚集于砂体内部(由于沉积形成孔隙型结构),页岩层仅作为通道起输导作用,但由于发育上述3种储集空间类型,页岩也可以形成工业油流聚集。

对出油段页岩岩心的观察发现,页理有一定倾斜时普遍见到岩心含油,倾斜度越高,含油性越好。进一步利用测井等宏观资料校正,发现倾斜的页岩层虽然含油,但倾向指向盆地核部时不如倾向偏离该方向的页岩储油性好,经对若干口兼探井的复

查,该规律基本吻合于各个产层。因此可以断定,陆相页岩油最常见的一类“甜点”即为开启的页岩层,且须具备一定的规模;而开启条件则是地层发生掀斜,掀斜后的地层倾向如果发生偏离而非指向盆地核部,则油气富集程度越好;同时地层本身倾角越大,页理开启程度越大,含油性亦越好。因此,页岩的倾向与倾角是决定陆相页岩油富集的一个重要因素。

4 页岩油的可动性探析

4.1 存在问题

在陆相页岩与盆地边缘斜坡砂体叠合的部位,常发育许多伸向湖泊的薄层砂质条带,厚度一般小于2 m。在中国东部陆相湖盆,这些砂体仍然是常规油藏的寻找目标,例如东营凹陷沙四段的滩坝砂油藏。西加拿大盆地海相页岩中也分布有很多砂质条带,厚度多为3~5 m;美国则常将该类砂体赋存的油气归属于页岩油气,例如巴耐特页岩油田的储集体实际就是页岩内的砂质条带,最大厚度可达5 m,也是页岩油产出的主要贡献层。

近期,中国也将赋存于厚度小于3 m的页岩夹砂质条带的油气划归为页岩油气的范畴。陆相页岩所夹的砂质条带可形成独立的岩性油藏,可以作为直接勘探目标;但这些砂质条带对页岩油的3种“甜点”储集空间类型的开发动用更具独特的意义。陆相页岩的可塑性强,由于富含碳酸盐而使得整个岩性抗压能力差,压裂增产时,人工支撑剂被塑性围岩“压嵌”,支撑结构不稳定,油层渗流能力遭到破坏。而利用这些小型砂体的渗透性或经改善的渗透能力,则可以作为周围页岩基质内页岩油产出的天然支撑条件。

4.2 方法与对策

根据针对孔隙发育段的识别标定和规模化考虑,对济阳拗陷沙三段下亚段页岩层(樊页1等井)进行了几个段次的射孔求产,自然产能均未达到工业标准,即单井产量过低,累积产量一般不足千吨,后期的垂直段压裂投产亦不奏效。对页岩样品进行模拟压裂过程的“压嵌”实验证实,在支撑剂环节出现了问题;即陶粒支撑剂在受压一段时间后均被压嵌进入矿物结构中,并未起到支撑架构的作用。这是因为页岩储层的骨架成分多为硬度较低的碳酸盐和黏土微粒,而不是石英、长石等刚性颗粒。因此,常规支撑剂压裂不能起到维护储层微-纳米

孔隙架构、保持渗流通道顺畅的作用。针对出现的问题,为提高页岩产油贡献率,采用改善邻区页岩层夹砂质条带渗透性的方法,选择纯化镇樊16-19井进行现场试验,其砂层仅有1.7 m,但内部充填大量的碳酸盐和黏土矿物,通过大排量分步挤注酸液的方式,改善了砂层的渗透性,沟通了页理,天然支撑作用得以体现,获得日产油量为3 t/d、日产气量数千方且稳产1 a以上的理想效果,其中的甲烷气体证明油气来自页岩层。该试验效果为济阳拗陷陆相页岩油的全面开发利用提供了可行性佐证。

4.3 效果分析

利用薄层砂质条带作为天然压裂诱导缝对围岩(泥页岩)进行改造的方法,在樊16-17和樊17-23等井又获得成功,证实该方法对辅助页岩油的动用开发是可行的。未来在甜点不断优化、增产方法不断完善的过程中,陆相页岩油领域将会打开更多的利用空间。

若采用长水平段压裂投产,考虑陆相页岩油气“甜点”往往是一个曲面破碎带、应力释放弱固结层理缝发育带或微-纳米孔局部富集层,长水平段不能完全有效贯穿“甜点”聚集带,而是顺层延伸,导致多极压开点大部分落于“甜点”之外。因为上述3种规模化发育的储集空间类型在泥页岩中呈垂向分布,因此,理论上应以垂直段多层合采较为合理。但为获得工业油流,最大限度提高单井产量,酸化、压裂措施的配套实施是必要的。为在酸化、压裂投产时实现最佳近井支撑效果,支撑剂的选择尤为重要。

薄层砂质条带作为天然压裂支撑剂,其延伸距离长、接触页岩面积大、岩性致密且稳定,是一种合理的“支撑剂”。通常条件下,这些薄层砂质条带本身的渗透性偏差、输导能力弱,须进行酸化改善。页岩油层压裂时,可选择“甜点”包围的薄层砂质条带作为目标进行大型酸压,将其改造成高渗透层,通过增加压酸排量的方式,使改造液溢出砂层与页理沟通,酸液须与砂层和页岩层同时配伍,不会对页岩油层造成伤害,从页岩溢出的油流通过砂质条带进入生产井筒,可以实现相对高产、稳产的目的。

5 结论

济阳拗陷有逾万平方公里的页岩分布区,是胜利油区主要的烃源岩。近些年,随着以北美为核心区的页岩油气的开发动用,中国东部广大陆相页岩

层系受到高度重视,加大了页岩油的勘探力度,先后在东营-沾化凹陷腹地完钻页岩层系探井10口,系统取心一千多米,进行了全岩石和生烃参数系统测试,建立了多个贯穿页岩层系的钻井参数剖面。

济阳坳陷陆相页岩的岩性、物性和含油性等特征均不同于西加拿大盆地。西加拿大盆地为大面积海相沉积地层,页岩密度低,生物-结晶孔发育,长英质颗粒构成骨架,压裂不伤产层;而济阳坳陷为湖相非均质性强的低密度岩层,多不发育生物孔隙,以隐晶碳酸盐-泥夹层-砂、云薄互层组合岩性为特点,地层抗压能力差,不宜进行压裂求产。虽然济阳坳陷沙四段上亚段和沙一段颗粒碳酸盐的上覆和下伏岩性过渡段发育显微晶-微晶白云岩层,但均未发现大套白云岩层,因此寻找该类岩性油藏的潜力尚不确定;但作为兼探层系,有30多口井在泥页岩层获得了工业油气流,表明胜利油区陆相页岩层系具备储集工业油流的条件,而储集空间的确定和勘探目标的界定成为当前陆相页岩油气勘探开发的主探方向。

因此,西加拿大盆地海相页岩油气的动用模式不适用于济阳坳陷陆相页岩层系,这是由页岩层的岩性、物性、储集性及可压性决定的。济阳坳陷东营-沾化凹陷陆相页岩层的油气生成与聚集具有其自身规律,“甜点”的规模化开发仍是下一步勘探与部署的重点,依据自身特有规律在中国陆相页岩领域中寻找有价值的页岩油气藏并实现合理科学开发的可能性是存在的。

通过对比西加拿大盆地页岩油特征,在明确界定陆相页岩油3种规模化发育“甜点”的基础上,运用岩石矿物学诊断和分步溶离改造原理,利用砂质条带作为天然支撑剂,将其改善为不易被岩石覆压所闭合的高渗透层,然后将深化解堵目标瞄准砂质条带周围的页岩基质,实施增产改造,这一技术思路是今后页岩油勘探、开发的优选方法。

参考文献

- [1] 邹才能.非常规油气地质[M].北京:地质出版社,2011.
ZOU Caineng. Unconventional oil and gas geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.
- [2] GAUTIER D L, DOLTON G L, TAKAHASHI K I, et al. National assessment of United States oil and gas resources—Results, methodology, and supporting data [C]. McGregor and Carl Abston: U S Geological Survey Digital Data Series DDS-30, 1995.
- [3] 姜福杰, 庞雄奇, 欧阳学成, 等. 世界页岩气研究概况及中国页岩气资源潜力分析[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 198-211.
JIANG Fujie, PANG Xiongqi, OUYANG Xuecheng, et al. The main progress and problems of shale gas study and the potential prediction of shale gas exploration [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 198-211.
- [4] BREYER J A. Shale reservoirs: giant reservoir for the 21st century [C]. Tulsa: AAPG memoir; 2012.
- [5] BUSTIN R M. Gas shale tapped for big pay [J]. AAPG Explore, 2005, 26(2): 5-7.
- [6] 张金川, 林腊梅, 李玉喜, 等. 页岩油分类与评价[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 322-331.
ZHANG Jinchuan, LIN Lamei, LI Yuxi, et al. Classification and evaluation of shale oil [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(5): 322-331.
- [7] CHALMERS G R L, BUSTIN R M. Light volatile liquid and gas shale reservoir potential of the Cretaceous Shaftesbury Formation in northeastern British Columbia, Canada [J]. AAPG Bulletin, 2012, 97(7): 1 333-1 367.
- [8] 湛卓恒, OSADETZ Kirk G. 西加拿大沉积盆地 Cardium 组致密油资源评价[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(3): 320-328.
CHEN Zhuoheng, OSADETZ Kirk G. An assessment of tight oil resource potential in the Upper Cretaceous Cardium Formation, Western Canada Sedimentary Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 320-328.
- [9] 刘文卿, 汤达祯, 潘伟义, 等. 北美典型页岩油地质特征对比及分类[J]. 科技通报, 2016, 32(11): 13-18.
LIU Wenqing, TANG Dazhen, PAN Weiyi, et al. Comparison of geological characteristics and types of typical shale oil in North America [J]. Bulletin of Science and Technology, 2016, 32(11): 13-18.
- [10] 祝彦贺, 胡前泽, 陈桂华, 等. 北美 A-29 区块页岩油资源潜力分析[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(3): 66-70, 91.
ZHU Yanhe, HU Qianze, CHEN Guihua, et al. Study on resource potential of shale oil in A-29 Block, North America [J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(3): 66-70, 91.
- [11] 刘耕武, BRAMAN Dennis R, 李伟同, 等. 北美西部陆相白垩系-古近系界线孢粉学特征简介——兼评中国东部白垩系-古近系界线研究[J]. 地层学杂志, 2009, 33(1): 18-34.
LIU Gengwu, BRAMAN Dennis R, LI Weitong, et al. Palynostratigraphic characteristics of Cretaceous-Paleogene boundary of western north America and review on searching for Cretaceous-Paleogene boundary in eastern China [J]. Journal of Stratigraphy, 2009, 33(1): 18-34.
- [12] 司马立强, 李清, 闫建平, 等. 中国与北美地区页岩气储层岩石组构差异性分析及其意义[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(9): 29-33, 58.
SIMA Liqiang, LI Qing, YAN Jianping, et al. Analysis on the differences of rock fabrics in shale gas reservoir and its significance [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2013, 35(9): 29-33, 58.
- [13] 陈一鸣, 魏秀丽, 徐欢. 北美页岩气储层孔隙类型研究的启示[J]. 复杂油气藏, 2012, 5(4): 19-22.
CHEN Yiming, WEI Xiuli, XU Huan. Suggestions from the research of pore types of shale gas reservoir in North America [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2012, 5(4): 19-22.
- [14] 吴奇, 胥云, 张守良, 等. 非常规油气藏体积改造技术核心理论

- 与优化设计关键[J].石油学报,2014,35(4):706-714.
WU Qi, XU Yun, ZHANG Shouliang, et al. The core theories and key optimization designs of volume stimulation technology for unconventional reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35 (4) : 706-714.
- [15] 丁文龙,许长春,久凯,等.泥页岩裂缝研究进展[J].地球科学进展,2011,26(2):135-144.
DING Wenlong, XU Changchun, JIU Kai, et al. The research progress of shale fractures [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26 (2): 135-144.
- [16] 李江海,李维波,周肖贝,等.全球沉积盆地结构与构造演化特征:洲际纬向超长剖面对比研究[J].大地构造与成矿学,2014,38(1):1-11.
LI Jianghai, LI Weibo, ZHOU Xiaobei, et al. Characteristics of structural and tectonic evolution of global sedimentary basins: evidence from the comparison of E-W global-scale profile [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2014, 38(1): 1-11.
- [17] 李新景,吕宗刚,董大忠,等.北美页岩气资源形成的地质条件[J].天然气工业,2009,29(5):27-32.
LI Xinjing, LÜ Zonggang, DONG Dazhong, et al. Geologic controls on accumulation of shale gas in North America [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 27-32.
- [18] 张所续.世界页岩气勘探开发现状及我国页岩气发展展望[J].中国矿业,2013,22(3):1-3,11.
ZHANG Suoxu. The exploration and development situation of world shale gas and development of China's shale gas outlook [J]. China Mining Magazine, 2013, 22(3): 1-3, 11.
- [19] 赵靖舟,方朝强,张洁,等.由北美页岩气勘探开发看我国页岩气选区评价[J].西安石油大学学报:自然科学版,2011,26(2):1-7,110.
ZHAO Jingzhou, FANG Chaoqiang, ZHANG Jie, et al. Evaluation of China shale gas from the exploration and development of North America shale gas [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science, 2011, 26(2): 1-7, 110.
- [20] 张守鹏.储存域与油气成藏的有效性分析[J].油气地质与采收率,2007,14(5):5-7,22.
ZHANG Shoupeng. Analysis on the oil storing area and validity of hydrocarbon reservoir forming [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(5): 5-7, 22.
- [21] 庞长英,连军利,吴一凡,等.美国页岩油气开发技术及对我国的启示[J].石油地质与工程,2012,26(5):62-66.
PANG Changying, LIAN Junli, WU Yifan, et al. Enlightenment of American shale oil and gas development technology towards China [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2012, 26(5): 62-66.
- [22] TAMMEOJA T, REINSALU E. Forecast of Estonian oil shale usage for power generation [J]. Oil Shale, 2008, 25(2): 115-124.
- [23] ENERGIA E. Creating new energy, the financial year (2008/2009) [C]//International Oil Shale Symposium. Tallinn: Tallinn International Oil Shale Seminar, 2009.
- [24] OTS A. Oil shale as power fuel [C]//International Oil Shale Symposium. Tallinn: Tallinn International Oil Shale Seminar, 2009.
- [25] SARKKI J. Five years of successful operation with Foster Wheeler CFB boilers burning oil shale at Narva power stations [C]//International Oil Shale Symposium. Tallinn: Tallinn International Oil Shale Seminar, 2009.
- [26] 朱光有,金强,张善文,等.渤南洼陷盐湖-咸水湖沉积组合及其油气聚集[J].矿物学报,2004,24(1):25-30.
ZHU Guangyou, JIN Qiang, ZHANG Shanwen, et al. Salt lake-saline lake sedimentary combination and petroleum accumulation in the Bonan Sag [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24(1): 25-30.
- [27] 郝运轻,谢忠怀,周自立,等.非常规油气勘探领域泥页岩综合分类命名方案探讨[J].油气地质与采收率,2012,19(6):16-19,24.
HAO Yunqing, XIE Zhonghuai, ZHOU Zili, et al. Discussion on multi-factors identification of mudstone and shale [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 16-19, 24.

编辑 邹滢滢