

文章编号: 0253-2697(2016)11-1337-06 DOI:10.7623/syxb201611002

# 页岩油气纵向综合甜点识别新方法及量化评价

陈桂华 白玉湖 陈晓智 徐兵祥 祝彦贺 冯汝勇 陈 岭

(中海油研究总院 北京 100028)

**摘要:**页岩储层厚度一般较大,且储层物性纵向上非均质性强,长水平井多级压裂开发技术要求对水平井着陆点及轨迹进行优选。通过综合考虑页岩可压性、资源禀赋、流动性等因素,提出了页岩油气纵向综合甜点的概念,其是纵向地质因素与工程因素的综合。建立了页岩油气纵向综合甜点识别流程及方法,实现了纵向上从远景段、有利段、核心段,再到甜点段的识别过程。定义了纵向综合甜点指数,可以量化评价储层物性纵向分布的差异及非均质性。在此基础上,考虑地应力分布预估有效压裂裂缝高度,定义了纵向综合甜点系数,能够准确量化最优水平井着陆点,可以有效指导水平井靶点及轨迹设计,并且经过现场应用证明了该方法的有效性。

**关键词:**页岩油气;纵向综合甜点;量化方法;纵向综合甜点指数;纵向综合甜点系数

**中图分类号:** TE132.8

**文献标识码:** A

## A new identification method for the longitudinal integrated shale oil/gas sweet spot and its quantitative evaluation

Chen Guihua Bai Yuhu Chen Xiaozhi Xu Bingxiang Zhu Yanhe Feng Ruyong Chen Ling

(CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

**Abstract:** Shale reservoir is generally characterized by large thickness and strong longitudinal heterogeneity of reservoir physical property. The multi-stage fracturing development technology for long horizontal well requires the optimization of landing point and trajectory in horizontal well. This paper put forward the concept of longitudinal integrated shale oil/gas sweet spot considering shale fracability, resources endowment, fluidity and other factors, which is a synthesis of longitudinal geological factors and engineering factors. Then the identification process and method of longitudinal integrated sweet spot was established, thus realizing the recognition process from prospective segment to favorable segment, core segment and sweet spot segment, respectively. Meanwhile, longitudinal integrated sweet spot index was designed, which can quantitatively evaluate the difference and heterogeneity in longitudinal distribution of reservoir physical properties. On this basis, the longitudinal integrated sweet spot coefficients considering effective stress distribution were designed to predict effective hydraulic fracture height, which can accurately quantify the optimal horizontal landing point and effectively guide the target point and trajectory designs of horizontal well. Field application has proved the effectiveness of this method.

**Key words:** shale oil and gas; longitudinal integrated sweet spot; quantitative method; longitudinal integrated sweet spot index; longitudinal integrated sweet spot coefficient

**引用:**陈桂华,白玉湖,陈晓智,徐兵祥,祝彦贺,冯汝勇,陈岭.页岩油气纵向综合甜点识别新方法及量化评价[J].石油学报,2016,37(11):1337-1342,1360.

**Cite:** Chen Guihua, Bai Yuhu, Chen Xiaozhi, Xu Bingxiang, Zhu Yanhe, Feng Ruyong, Chen Ling. A new identification method for the longitudinal integrated shale oil/gas sweet spot and its quantitative evaluation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(11): 1337-1342, 1360.

页岩储层总体上呈现大面积连续分布状态,但非均质性较强,在进行商业开发时,需要确定平面甜点优先开发。目前国内外相关文献<sup>[1-10]</sup>根据不同页岩储层物性特征,优选出不同的评价体系对页岩储层

的甜点进行识别。但多数评价体系涉及参数较多,在实际应用中受到一定限制<sup>[11,12]</sup>。陈桂华等<sup>[13]</sup>提出了页岩储层快速评价中重点要确定“五度”,即页岩深度、页岩储层厚度、页岩中有机质丰度、页岩中有

**基金项目:**中海石油(中国)有限公司综合科研项目“海外页岩油气产能评价技术与方法研究”(YXKY-2016-ZY-03)资助。

**第一作者:**陈桂华,男,1963年8月生,1986年获中国地质大学(北京)学士学位,1989年获中国地质大学(北京)硕士学位,现为中海油研究总院高级工程师,主要从事页岩气、致密气等领域的勘探研究工作。Email:chengh@cnooc.com.cn

**通信作者:**白玉湖,男,1976年8月生,1999年获石油大学(华东)学士学位,2006获中国科学院力学研究所博士学位,现为中海油研究总院高级工程师,主要从事页岩油气、致密气、水合物等非常规油气开发研究。Email:byh\_2002@163.com

机质成熟度和页岩的脆性度等指标,这是快速评价页岩油气有利区的关键。在优选出平面甜点之后进行水平井多级压裂,因此,确定水平井着陆点以及优选水平井在储层中的轨迹对提高单井控制储量和产量非常重要<sup>[14,15]</sup>。

页岩储层厚度较大,纵向上非均质性强,有物性好、储量集中段,也有物性较差的层段<sup>[16,17]</sup>,因此,识别页岩油气纵向甜点是开展页岩油气开发研究的重要问题,可以有效指导水平井着陆点选择及水平井轨迹优化,但目前尚未见到关于纵向综合甜点量化评价方法<sup>[18]</sup>。笔者提出了页岩油气纵向综合甜点的识别流程及量化评价方法,可为水平井着陆点及水平井轨迹提供了重要指导。

## 1 纵向综合甜点识别流程及方法

页岩油气纵向综合甜点是平面甜点概念的深化和拓展,涵盖了纵向地质甜点和纵向工程甜点,既要考虑纵向地质因素,也要考虑纵向工程因素,是地质因素与工程因素的综合。从地质和工程角度,按照从远景段、有利段、核心段再到纵向综合甜点的评价思路,提出了页岩油气纵向综合甜点识别流程与方法。笔者在大量水平井地质资料、生产数据、水平井轨迹等综合分析的基础上,明确了渗透率、TOC(总有机碳)、含烃饱和度、孔隙度、脆性矿物含量、地应力分布等是识别页岩油气纵向综合甜点的主要参数。

(1) 远景段识别。远景段的识别对资料要求精度不高,可以依据盆地或区域地质背景资料,分析研究区的构造与沉积演化。由于目前获得商业开发的页岩油气区块大多处于海相沉积环境,因此,可以通过分析地质背景判断得到在相对稳定构造背景下的海相地层沉积为纵向远景段。

(2) 有利段—核心段识别。海相沉积环境中一般会发育多套地层,需要确定哪套地层最有利于页岩发育和油气聚集,以及该套地层可以划分为几段。通过分析发育地层的层序旋回及岩性组合,利用露头、岩心以及测井曲线等综合分析,可以很好地确定页岩油气纵向有利段和核心段,核心段一般为富有机质页岩,为海进体系域凝缩段的细粒沉积,岩心上可见纹层发育,一般为灰黑色、灰色,在露头上由于风化作用颜色变浅,多为灰色,GR和TOC测井曲线上多为明显高值,与上下岩性界面处多为突变现象。

(3) 纵向综合甜点识别确定水平井着陆点及水平井轨迹优选。纵向综合甜点是水平井着陆点的最佳选择,需应用测井资料、岩心化验测试资料等综合分析进行确定。重点评价渗透率、TOC、含烃饱和度、孔隙

度、脆性矿物含量、地应力等参数在纵向上的分布,综合确定最优的甜点段。但目前尚没有综合上述因素的量化分析指标,多采用综合分析方法,人为主观性较大,为水平井着陆点选择及轨迹优选带来困难。因此笔者提出了纵向综合甜点指数的概念,可以量化储层物性纵向分布的差异及非均质性,能够有效地指导水平井靶点设计。

页岩油气纵向综合甜点识别流程及方法为寻找纵向优质页岩、确定水平井着陆点及水平井轨迹提供了重要指导,可有效提高单井控制储量和可采储量。

## 2 纵向综合甜点指数

页岩油气储层厚度一般较大,有十几到几十米,甚至上百米,且储层物性,如渗透率、孔隙度、矿物成分、有机质含量、孔喉分布等在纵向上分布的非均质性较强<sup>[19,20]</sup>。而开采页岩油气的长水平井多级压裂技术要求水平井段位于储层中合适的位置,既要保证压裂的裂缝能够很好地在垂向上沟通储层,又要保证水平井穿过储层中物性条件好的位置,以保证页岩油气井的高产。因此,需准确确定纵向综合甜点具体位置,为水平井轨迹靶点的确定提供依据。为此,笔者提出了纵向综合甜点指数概念,其表达式为:

$$S_{iv} = B_{in} \cdot C_{TOCn} + K_n \cdot S_{hn} \cdot \phi_n \quad (1)$$

其中:

$$B_{in} = (B_i - B_{min}) / (B_{max} - B_{min}) \quad (2)$$

$$C_{TOCn} = (C_{TOC} - C_{TOCmin}) / (C_{TOCmax} - C_{TOCmin}) \quad (3)$$

$$K_n = (K - K_{min}) / (K_{max} - K_{min}) \quad (4)$$

$$S_{hn} = (S_h - S_{hmin}) / (S_{hmax} - S_{hmin}) \quad (5)$$

$$\phi_n = (\phi - \phi_{min}) / (\phi_{max} - \phi_{min}) \quad (6)$$

归一化之后的各参数范围统一为0~1,即可消除不同参数绝对值量级上的差别对评价效果的影响。

纵向综合甜点指数分为2部分。第1部分为 $B_{in}$ 和 $C_{TOCn}$ 的乘积,用来综合考虑不同TOC的岩石可压性。因为TOC和脆性成反比关系,而脆性指数则代表了脆性的强弱,因此,第1部分实际上是表示了物质基础和可压性的综合表现。比如,脆性指数较高时,相应的TOC就会有所减小;TOC较高时,脆性指数就会相应减少。极端情况是脆性指数特别高,而页岩的TOC含量为0,此时此项乘积也为0,意味着页岩中没有有机质,也就不会有页岩油气的存在。当页岩中TOC较高,而此时脆性指数较低,该乘积也会较小,表明虽然油气资源禀赋好,但可压性较差,对开发也不利。总之,对于纵向综合甜点指数的第1部分,合适的TOC和合适的脆性指数相乘才能得到较大的乘积,即

意味着有利于纵向综合甜点指数的增加。纵向综合甜点指数的第 2 部分为  $K_n \cdot S_{ln} \cdot \phi_n$ , 即归一化的渗透率、饱和度及孔隙度乘积, 物理意义为页岩油气资源物质基础及其对应的流动能力, 该乘积越大, 说明越有利于开发。因此, 纵向综合甜点指数融合了页岩储层的几个重要参数, 从可压性、资源禀赋、流动性等方面综合评价储层同一纵向轴上的甜点程度。

从页岩油气 A 井储层段测井曲线及解释得到的脆性指数、TOC、基质渗透率、含烃饱和度、孔隙度等参数(图 1)中可见, 在深度为 1962~2011 m 的储层厚度范围内, TOC 为 0.368%~5.776%, 孔隙度为 0.036~0.085, 脆性指数为 0.579~0.832, 渗透率在 45~2977 mD, 含烃饱和度为 0.435~0.880, 各参数数量级具有一定的差别, 而且各参数范围也相差较

大。经过归一化处理之后, 所有参数的范围均在 0~1。页岩油气 A 井储层段归一化 TOC、归一化孔隙度、归一化渗透率、归一化含烃饱和度及归一化脆性指数分布能够较好地体现各参数在垂向上的相对大小(图 2)。

从页岩油气 A 井储层段纵向综合甜点指数分布(图 3)可见, 纵向综合甜点指数在垂向上分布不均匀, 总体趋势是自上而下呈逐渐增加的趋势。虽然纵向综合甜点指数能够体现储层同一垂向轴上物性的相对好坏, 但仍难以直接判断出水平井着陆点的位置。从图 3中可以看到, 最大纵向综合甜点指数在 2 005 m 处, 但如果把水平井段设置在该深度, 则水平井段距离储层底只有 5.5 m, 考虑到压裂裂缝的扩展高度, 裂缝极可能扩展到下部非目的层内。

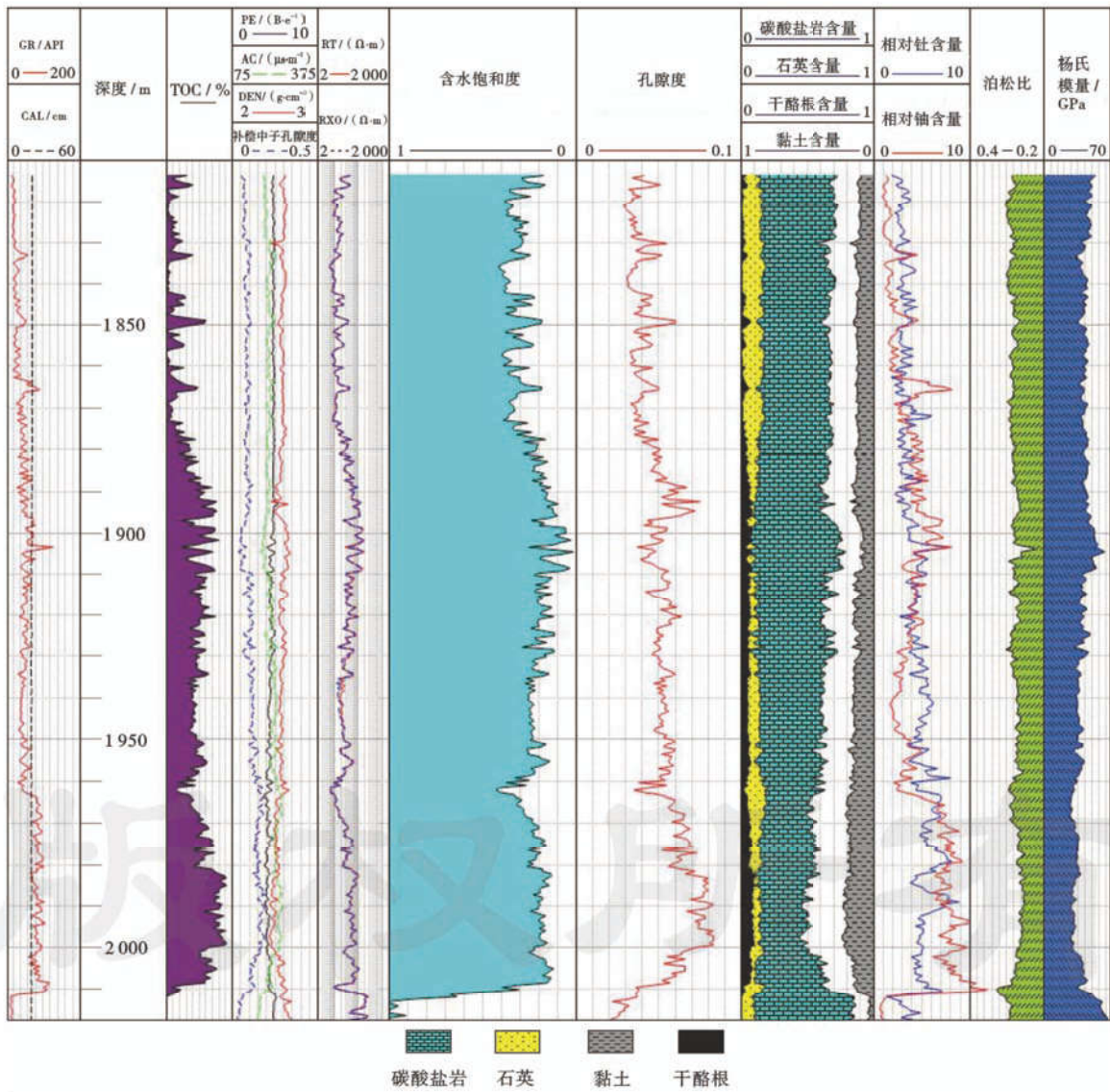


图 1 页岩油气 A 井储层段的测井曲线及测井解释结果

Fig. 1 Logging curves and interpretation of the reservoir formation in shale Well A

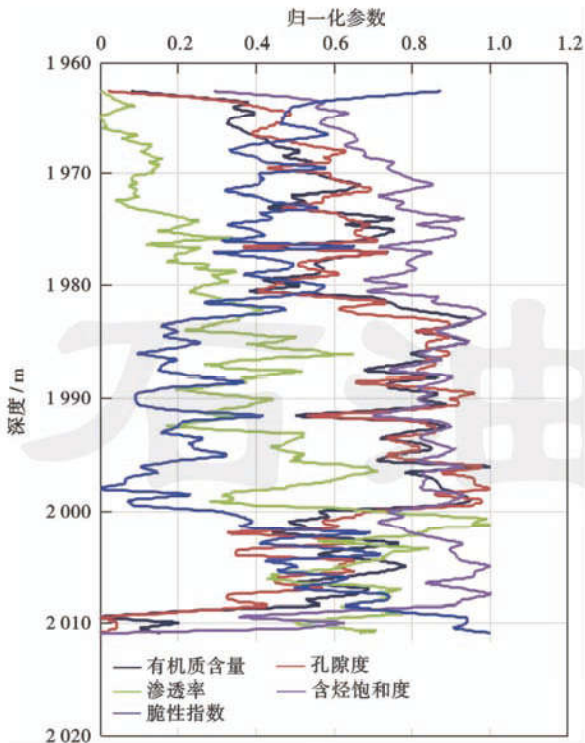


图2 页岩油气A井储层段归一化参数分布

Fig. 2 Distribution of normalized parameters for the reservoir formation in shale Well A

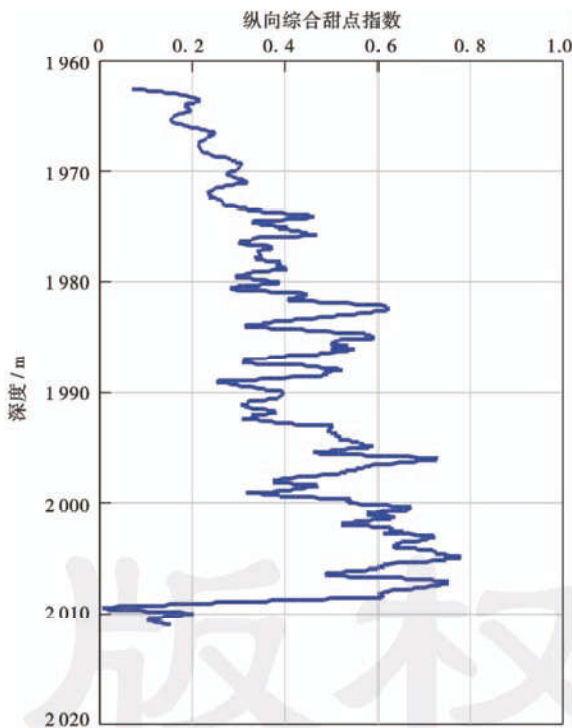


图3 页岩油气A井储层段纵向综合甜点指数分布

Fig. 3 Distribution of longitudinal integrated sweet spot indexes of the reservoir formation in shale Well A

### 3 纵向综合甜点系数

页岩油气开发压裂的裂缝高度可以达到几十米甚至上百米,裂缝的高度对页岩油气开发效果具有明显

的影响。较高的裂缝高度可以更好地从垂向上沟通储层的上下部位,增加页岩油气的动用体积,增加单井的可采储量。控制压裂裂缝扩展高度的参数除了储层物性参数之外,储层的地应力分布是控制裂缝垂向扩展最重要的因素。纵向综合甜点指数能够从储层本质上评价出储层在同一垂向轴上的相对好坏,是一个点的概念,还需要综合考虑储层应力变化而导致的压裂裂缝高度的变化。假设把水平井设计在储层的某一个位置,按照地应力及储层物性条件能够预测水平井段对应位置的压裂裂缝高度。当水平井设计在不同的位置时,就可以分别获得不同储层位置处可能的压裂裂缝高度。因此,在水平井轨迹优选设计时,除了要考虑纵向综合甜点指数这一静态指标之外,还要考虑由于地应力影响而导致的储层压裂裂缝高度的影响,在此基础上才能更加准确地确定水平井轨迹所在最优垂向位置。为此,提出了纵向综合甜点系数的概念,即对任意垂向位置处的水平井段进行压裂评价,采用纵向综合甜点指数在预估的有效压裂裂缝高度范围内积分来表示水平井能够动用的储量物质基础及其对应的流动能力,其表达式为:

$$S_v = \int_{(h-h_1)/2}^{(h+h_1)/2} S_{iv} dh \quad (7)$$

$S_v$  越大的位置,越是有利的水平井段位置。在实际应用中,可以作出  $S_v$  随储层深度的变化规律,然后  $S_v$  的最大值处作为水平井着陆点位置。图4给出了页岩油气井A储层段纵向综合甜点系数分布,其中红色、绿色

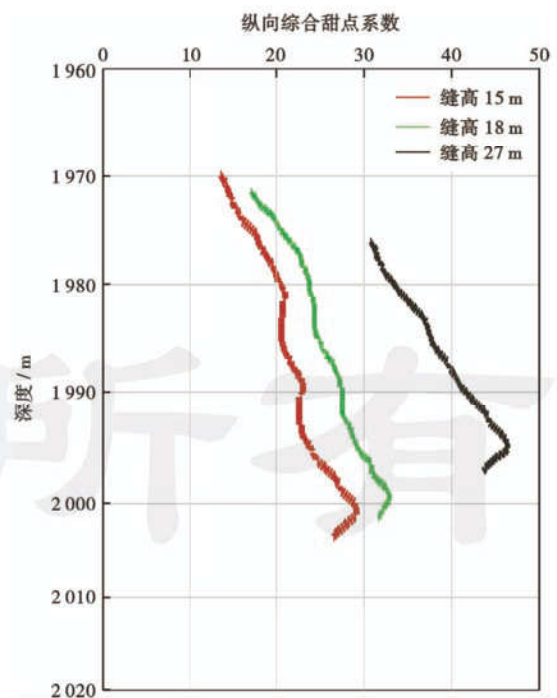


图4 页岩油气A井储层段纵向综合甜点系数分布

Fig. 4 Distribution of longitudinal integrated sweet spot coefficients of the reservoir formation in shale Well A

和黑色曲线分别代表有效压裂裂缝高度为 15 m、18 m 和 27 m 时的纵向综合甜点系数分布。可见,当预估的有效压裂裂缝高度不同时,最大纵向综合甜点系数略有差别,但其变化趋势相同。

对于页岩油气 A 井,当预估的有效压裂裂缝高度为 15 m 时,则在 2001 m 处为最优的水平井着陆点;当预估的有效压裂裂缝高度为 18 m 时,则最优的水平井位置在 1999 m;当预估的有效裂缝高度为 27 m 时,则最优水平井位置在 1995 m。可见,通过纵向综合甜点系数能判断出最优的水平井位置。

### 4 应用实例

为了验证方法的正确性和实用性,将与页岩油气 A 井在同一个井台上的页岩油气 B 井作对比分析,分析其水平井段轨迹所在的位置对产量的影响。

从页岩油气 A 井和 B 井的产油量对比(图 5)和页岩油气 A 井和 B 井的累积产油量对比(图 6)可见,虽然 2 口井在同一个井台上,但 B 井的产量要明显高于 A 井的产量。

这 2 口井所在区域地层发育稳定,为一小角度单斜储层,且这 2 口井在同一个井台上,可以认为 2 口井所在的储层物性参数及地应力分布是相同的,所预估的有效压裂裂缝高度也一致,因此排除了地质因素对产量的影响。

表 1 给出了 2 口井的完井压裂工程参数的对比。从表 1 可见,虽然 B 井产量高,但其水平段长度,压裂级数都低于 A 井,而且 B 井支撑剂用量和压裂液用量均低于 A 井,两口井的每级簇数及每簇的射孔数是一

致的。因此,在地质参数一致的条件下,从工程参数角度而言,A 井比 B 井更具有高产的优势,但实际上的生产数据不是这样。

从页岩油气 A 井和 B 井水平轨迹的对比(图 7)中可以看出,A 井的水平井段着陆点在深度 1978 m,而 B 井的水平井段着陆点在深度 1993 m,2 口井整个水

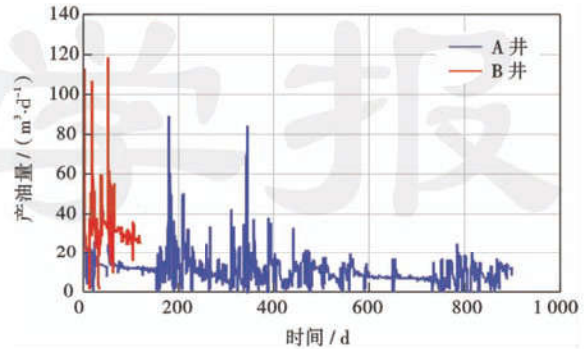


图 5 页岩油气井的产油量对比

Fig. 5 Production rate comparison of the shale wells

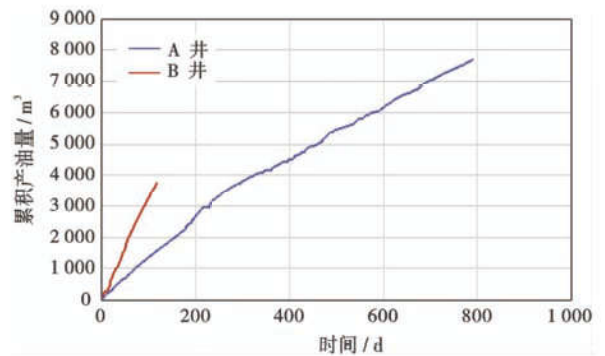


图 6 页岩油气井的累积产油量对比

Fig. 6 Cumulative production comparison of the shale wells

表 1 页岩油气井完井压裂工程参数的对比

Table 1 Comparison of completion and fracturing engineering parameters for the shale wells

井名	水平段长度/ m	压裂级数	簇间距/ m	每簇射孔数	每级簇数	总支撑剂用量/ t	总压裂液量/ m³	初始产油量/ (m³·d⁻¹)	初始产气量/ (m³·d⁻¹)
A 井	2530	24	9.14	5	10	4351	25748	15.7	708
B 井	1893	14	8.84	5	10	3322	19736	39.1	1132

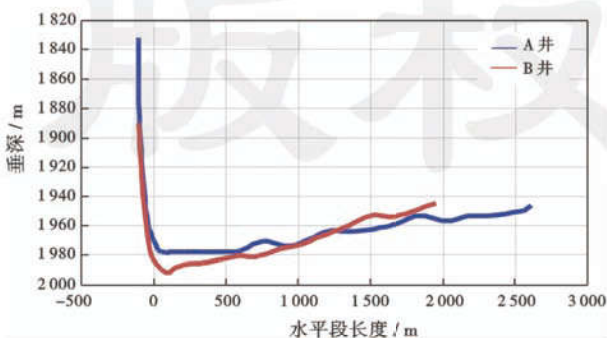


图 7 页岩油气井的水平井段轨迹对比

Fig. 7 Comparison of horizontal well trajectory of the shale wells

平井段上翘是由于整个储层的倾向所致。从图 4 中 A 井的储层段纵向综合甜点系数分布可知,预估有效裂缝高度为 27 m 时,最大纵向综合甜点系数在深度 1995 m,B 井更加靠近最大纵向甜点系数,而 A 井轨迹位于储层的上部,纵向甜点系数相对较小。因此,在同样的有效压裂裂缝高度条件下,B 井所沟通的资源物质基础和流体在储层中的流动能力要明显强于 A 井,这也是 B 井产量比 A 井明显高产的原因。

### 5 结论

(1) 提出了页岩油气纵向综合甜点识别方法,实

现纵向上从远景段、有利段、核心段,再到甜点段的识别过程。

(2) 定义了纵向综合甜点指数,表示储层综合物性在同一垂向轴上的相对好坏,可以量化储层物性纵向分布的差异及非均质性。在纵向综合甜点指数基础上,结合地应力预估压裂裂缝高度,定义了纵向综合甜点系数,即采用纵向综合甜点指数在预估的有效压裂裂缝高度范围内积分来表示水平井能够动用的储量物质基础及其对应的流动能力。

(3) 现场应用证明,该方法能够量化最优水平井着陆点,有效地指导水平井靶点及轨迹设计。

**符号注释:**  $S_w$ —纵向综合甜点指数,表示储层综合物性在同一垂向轴上的相对好坏; $B_m$ —归一化的脆性指数; $C_{TOCn}$ —归一化的有机质含量; $K_n$ —归一化的渗透率; $S_{hn}$ —归一化的含烃饱和度; $\phi_n$ —归一化的孔隙度; $B_i$ —脆性指数,无量纲; $B_{min}$ 和 $B_{max}$ —储层物性在同一垂向轴上的最小和最大脆性指数,无量纲; $C_{TOC}$ —有机质含量,%; $C_{TOCmin}$ 和 $C_{TOCmax}$ —储层物性在同一垂向轴上的最小和最大有机质含量,%; $K$ —渗透率,mD; $K_{min}$ 和 $K_{max}$ —储层物性在同一垂向轴上的最小和最大渗透率,mD; $S_h$ —含烃饱和度; $S_{hmin}$ 和 $S_{hmax}$ —储层物性在同一垂向轴上的最小和最大含烃饱和度; $\phi$ —孔隙度; $\phi_{min}$ 和 $\phi_{max}$ —储层物性在同一垂向轴上的最小和最大孔隙度; $S_v$ —纵向综合甜点系数; $S_w$ —纵向综合甜点指数; $h$ —储层内任意深度,m; $h_f$ —评估的有效压裂裂缝高度,m。

#### 参 考 文 献

- [1] Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [2] Burnaman M D, Xia Wenwu, Shelton J. Shale gas play screening and evaluation criteria[J]. China Petroleum Exploration, 2009, 14(3): 51-64.
- [3] Ross D J K, Bustin R M. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2007, 55(1): 51-75.
- [4] 聂海宽,唐玄,边瑞康.页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J].石油学报,2009,30(4):484-491.  
Nie Haikuan, Tang Xuan, Bian Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of South China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4): 484-491.
- [5] 谢国梁,刘水根,沈玉林,等.赣东北荷塘组页岩气成藏条件及有利区评价[J].中国矿业大学学报,2015,44(4):704-713.  
Xie Guoliang, Liu Shuigen, Shen Yulin, et al. Reservoir-forming conditions and favorable areas evaluation of shale gas reservoir in Hetang Formation, northeastern Jiangxi area[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(4): 704-713.
- [6] 周德华,焦方正.页岩气“甜点”评价与预测:以四川盆地建南地区侏罗系为例[J].石油实验地质,2012,34(2):109-114.  
Zhou Dehua, Jiao Fangzheng. Evaluation and prediction of shale gas sweet spots: a case study in Jurassic of Jiannan area, Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 109-114.
- [7] 李玉喜,乔德武,姜文利,等.页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J].地质通报,2011,30(2/3):308-317.  
Li Yuxi, Qiao Dewu, Jiang Wenli, et al. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 308-317.
- [8] 张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩气资源评价方法与技术:概率体积法[J].地学前缘,2012,19(2):184-191.  
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, et al. The method of shale gas assessment: probability volume method[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 184-191.
- [9] Pollastro R M, Hill R J, Jarvie D M, et al. Assessing undiscovered resources of the Barnett-Paleozoic total petroleum system, bend arch-fort worth basin province, Texas[C]//Online Adaptation of Presentation at AAPG Southwest Section Meeting, Fort Worth, TX: AAPG, 2003.
- [10] Bustin R M, Bustin A, Ross D, et al. Shale gas opportunities and challenges[R]. San Antonio, Texas: AAPG Annual Convention, 2008.
- [11] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等.中国页岩气研究现状与发展趋势[J].石油学报,2010,31(7):689-694.  
Chen Shangbin, Zhu Yanming, Wang Hongyan, et al. Research status and trends of shale gas in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(7): 689-694.
- [12] 林拓,张金川,李博,等.湘西北常页1井下寒武统牛蹄塘组页岩气聚集条件及含气特征[J].石油学报,2014,35(5):839-846.  
Lin Tuo, Zhang Jinchuan, Li Bo, et al. Shale gas accumulation conditions and gas-bearing properties of the Lower Cambrian Niutitang Formation in Well Changye 1, northwestern Hunan [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(5): 839-846.
- [13] 陈桂华,肖钢,徐强,等.页岩油气地质评价方法和流程[J].天然气工业,2012,32(12):1-5.  
Chen Guihua, Xiao Gang, Xu Qiang, et al. A method and workflow for shale oil and gas geological evaluation[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12): 1-5.
- [14] 陈桂华,祝彦贺,白玉湖,等.页岩油气水平井井组地质油藏设计流程及其应用[J].中国海上油气,2013,25(6):109-114.  
Chen Guihua, Zhu Yanhe, Bai Yuhu, et al. Geology and reservoir design for shale oil and gas horizontal well pad[J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(6): 109-114.
- [15] 袁俊亮,邓金根,张定宇,等.页岩气储层可压裂性评价技术[J].石油学报,2013,34(3):523-527.  
Yuan Junliang, Deng Jingen, Zhang Dingyu, et al. Fracability evaluation of shale-gas reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(3): 523-527.
- [16] 聂海宽,金之钧,边瑞康,等.四川盆地及其周缘上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩气“源—盖控藏”富集[J].石油学报,2016,37(5):557-571.  
Nie Haikuan, Jin Zhijun, Bian Ruikang, et al. The “source-cap hydrocarbon-controlling” enrichment of shale gas in Upper Ordovician Wufeng Formation-Lower Silurian Longmaxi Formation of Sichuan Basin and its periphery[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(5): 557-571.

(下转第 1360 页)