

水平井地质导向技术在苏里格气田开发中的应用

——以苏10和苏53区块为例

唐钦锡

(中国石油 长城钻探工程有限公司 地质研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 苏里格气田是典型的低渗、低压、低丰度岩性气藏, 气田开发中面临着实施区域井控程度低, 区内储层非均质性强、分布不稳定, 局部地区微构造发育等困难, 实施水平井的地质风险较高。为克服以上困难, 确保钻井成功, 提高储层钻遇率, 从如何选取对比标志进行精细地层对比出发, 进而开展工区微构造、沉积及储层展布规律研究。在此基础上, 应用地震含气性预测成果, 以构造及沉积相为约束, 利用精细地质建模、微构造预测等技术进行储层3D精细建模, 对待钻地层储层展布情况、微构造起伏情况进行模拟和预测。实钻过程中, 综合利用研究成果、钻井、录井、随钻测量等多种信息, 对地下微构造变化进行预测及井底岩性快速识别, 实时修正地质模型, 为水平井及时准确调整提供充分依据。

关键词: 非均质性; 微构造; 地质建模; 地质导向; 水平井; 苏里格气田

中图分类号: TE243

文献标识码: A

Application of geosteering technology in the development of Sulige gas field

—case studies of the Su10 and Su53 blocks

Tang Qinxi

(Geology Research Institute, Great Wall Drilling Company, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, China)

Abstract: Sulige gas field is a typical lithology-controlled gas reservoir with low permeability, low pressure, and low abundance. Development of this gas field faces various challenges, such as low degree of well control in drilling area, uncertainty of micro structure in some area, strong heterogeneity of reservoir and unstable sand distribution, making horizontal well drilling being highly risky. To guarantee drilling success and increase the ratio of target penetration, we first performed high-resolution stratigraphic correlation based on proper selection of marker beds, and then carried out detailed studies of the micro structure, deposition and reservoir distribution. Based on seismic prediction of gas-bearing properties and under the constraints of structure and sedimentary facies, we built a delicate 3D geologic model with fine geologic modeling technique and micro structure forecasting technology. With this model, we mapped the reservoir distribution and micro structures before drilling operation. During drilling operation, these study results can be integrated with the drilling, mud logging, MWD data to predict the change of subsurface microstructures and rapid identification of bottom hole lithology, which in turn can be used in the real-time modification of geologic model and drilling design.

Key words: heterogeneity, microstructure, geologic modeling, geosteering, horizontal well, Sulige gas field

在苏里格气田的开发过程中, 为提高气田开发效果, 在地质条件合适的区域进行了水平井开发试验, 在近几年的开发试验过程中, 水平井因显示出单井产量高, 开发成本相对较低的优势而得到了推广应用^[1]。做好水平井地质导向技术的研究与应用工作, 成为水平井钻井成功与提高储层钻遇率的基础^[2-8], 同时该技术的成功应用, 可使井轨迹处于储层最佳位置, 以便于压裂时沟通上下储层, 提高气井产能^[9]。

1 工区概况

苏10和苏53区块位于苏里格气田的西北部, 长庆靖边气田西北侧的苏里格庙地区, 构造上属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部中带^[10-11](图1)。主力气层为上古生界二叠系山西组一段(山一段)及石盒子组八段(盒八段)。

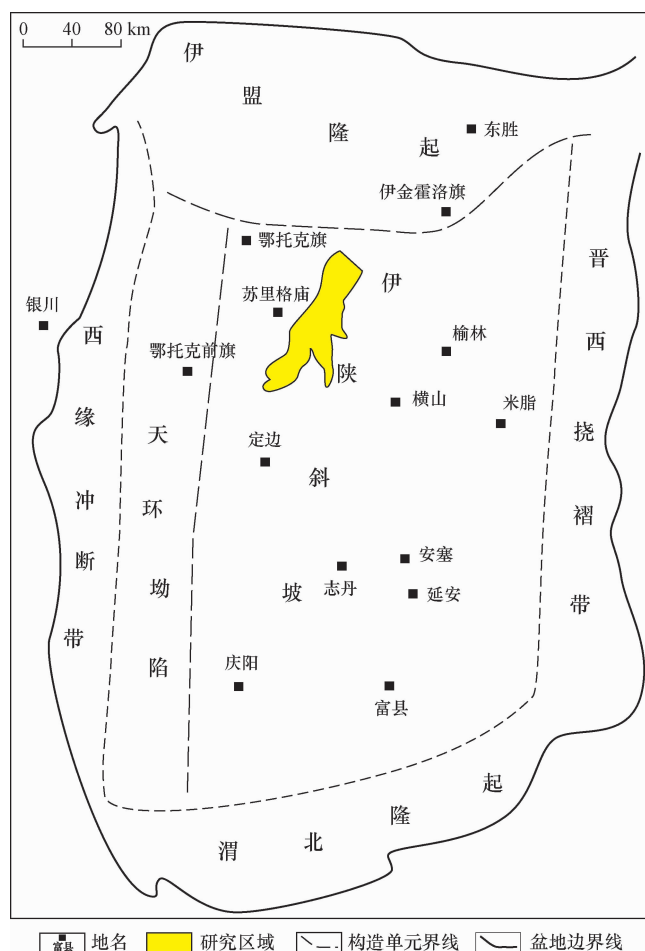


图1 苏里格气田苏10和苏53区块位置

Fig. 1 Location of Su10 and Su53 blocks in Sulige gas field

1.1 苏10、苏53盒八段储层基本地质特征

苏里格气田苏10和苏53区块盒八段储层为典型的河流相沉积,具有多变性和复杂性等特点。

纵向上多期河道充填砂岩与心滩砂岩相互叠置切割,形成复合连片的辫状河道复合砂体。沿河道方向砂体连通性好,延伸规模较大;横切河道方向砂体受河道发育规模影响,连续性较差,延伸规模小。

平面上砂体呈南北向分布,发育规模和几何形态受河道的宽度控制,其内部砂体结构也存在差异,非均质性强^[12-15]。

1.2 水平井实施中存在的技术难点

水平井钻井过程中存在以下几个主要难点:首先研究区域井控程度低,同时由于河道的迁移,导致储层平面分布预测难度加大,钻井过程中有储层相变为泥岩的风险;其次水平井实施区域微构造相对发育,构造的高点位置难以准确预测,可能导致水平钻进过程中轨迹从储层顶部或底部穿出;此外由于区域地层特点,使用PDC钻井,岩屑细小混杂,甚至呈粉末状,代表性较差,岩性判断困难;同时随钻测量曲线由于仪器零长

的存在而相对滞后,导致地质人员对地层认识滞后。以上诸多因素均加大利用水平井开发气藏的难度,部分因素还能导致水平井钻井失败,因此加强地质导向技术的研究与应用意义重大。

2 河流相储层水平井随钻地质导向技术

2.1 对比标志的选取及确定

对比标志在地质导向中起着校深及识别微构造的作用,是入靶调整最重要的依据之一,直接关系到能否准确入靶。选取原则是在现场技术手段和条件下,能够有效识别。

对于储层较复杂的河流相地层,对比标志的选取尽可能多,以防止地下地质体发生变化,为后续调整提供充分依据。

此外,对比标志的选取应合理,若选取的对比标志与目的层顶界距离相差太大,则其间地层厚度变化的不可确定性大,导致调整精度降低;若距离太小,则留给工程上调整的余地太小,有可能导致无法实现调整的目的,致使无法准确入靶。

实钻过程中依据随钻测量曲线,不断加强对比,深化地质认识。单个砂体或泥岩层段的变化,在实钻过程中较为常见,因此以多个对比标志为组合进行对比,可提高对比精度。

2.1.1 电性对比标志

苏里格气田地层对自然伽马反应敏感,电阻率反应不明显。根据实际情况对比邻井电测曲线,寻找曲线特征明显,易于识别的层段作为电性对比标志。在实钻过程中,利用随钻测量自然伽马及时对比邻井测井曲线,判断层位,通过实钻校正的曲线深度,实时修正地质模型。

2.1.2 岩性对比标志

岩性对比标志在现场应用,可行性较好,通过对返出岩屑的岩性、颜色、粒度可以判断层位。一般选择稳定性较好的,具有一定厚度的泥岩段。

2.2 微构造模型的建立

对水平井实施区域的微构造的研究是保证成功着陆以及砂体钻遇率的重要条件。需要对标志层顶底界构造、以及目的层顶底界构造进行分析,预测对比标志顶底界以及目的层砂体顶底界垂深或海拔。根据微构造模型对目的层地层产状进行分析,为入靶和水平段

调整提供依据。实钻过程中及时利用随钻测量曲线对比,依据标志层段变化,对预测模型进一步细化和修正,使之更接近于地下构造。

2.3 储层模型的建立

准确的地质建模是水平井地质导向的前提和基础。通过数据收集,对邻井进行精细地层对比,细分旋回,对目的层及上覆及下伏地层电性特征进行深入分析,开展构造及沉积微相研究工作,加强水平井实施区域地质认识;利用地震追踪储层,用过水平段地震远近道以及叠加剖面,预测储层含气性^[16-18];以构造及沉积微相研究成果为约束,建立储层岩相模型(图2)、有效气层属性模型(图3),模拟储集层及有效气层的空间分布规律^[19],多手段综合使用,提高河流相储层的预测精度。

2.4 井底岩性的快速识别

实钻过程中,由于随钻测井仪器测点距离钻头有一定距离,仪器测点到钻头的距离也称仪器零长,这段距离上的地层信息不能及时直接的反馈上来,对于现场导向师来说是一个“盲区”。

在水平井实施过程中,现场人员依据稳定钻压下的钻时、扭矩、地层造斜能力等参数,能够有效预判井

底岩性,达到快速识别井底岩性的目的。利用上返岩屑、以及随钻曲线应证岩性,尽可能克服因岩屑滞后、失真,测量仪器存在零长等因素造成的岩性判断的困难。

2.5 “盲区”储层的实时预测

在苏10、苏53区块使用的MWD随钻仪器伽马零长一般为11~14 m,因探管组装位置及下部钻具组合不同而有所差异。由于这段零长的存在,致使导向人员无法准确的掌握钻头至测量仪器段储层情况。对这一“盲区”段储层进行预测,对地质导向人员来说显得非常重要^[20]。

利用3D地质模型,结合实钻参数或信息,对比分析邻井沉积旋回特征,结合上返岩屑粒序特征,预测“盲区”段储层状况;利用储层相建模技术,预测钻头前方有效储层的变化。

3 地质导向技术应用分析

现场导向师得到的钻井地质设计中,靶点设计深度依据主要来源于邻井测井资料深度,该资料深度为电缆深度,与随钻测量深度之间存在一定误差,其次河流相储层纵横向变化大,而且井间存在微构造,因此井轨迹须进行调整。

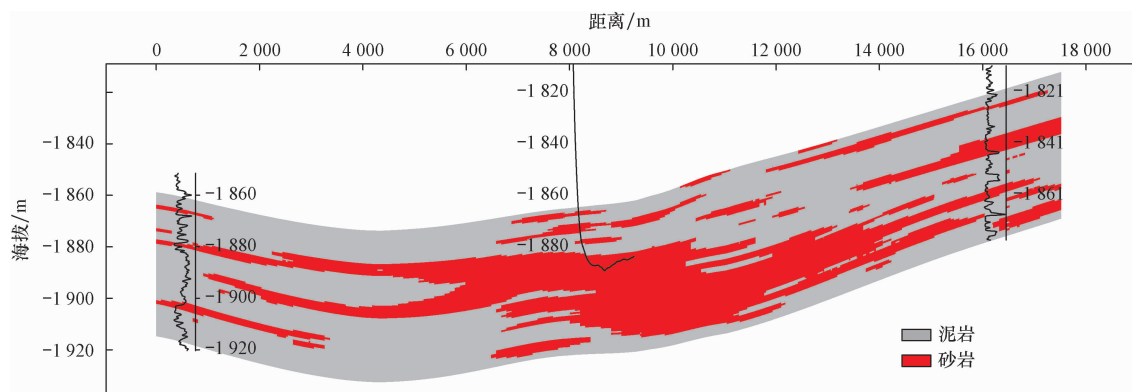


图2 苏里格气田储层岩相剖面

Fig. 2 Lithology profile of reservoirs in Sulige gas field

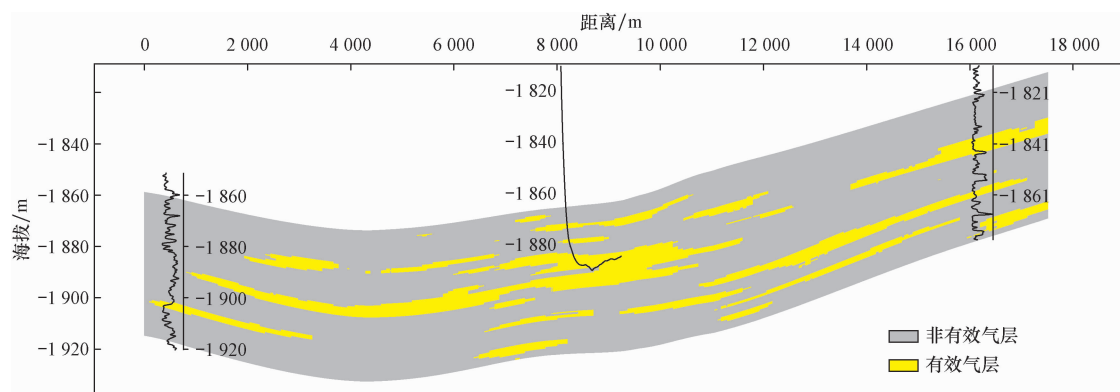


图3 苏里格气田储层属性剖面

Fig. 3 Attribute profile of reservoirs in Sulige gas field

水平井随钻跟踪调整按目的可分为造斜段调整及水平段调整两个阶段,其中造斜段调整(入靶前调整)目的是为确保准确入靶,水平段调整目的为使井轨迹处于储层最佳位置,从而获得理想的储层钻遇率。水平井随钻地质导向技术在苏里格气田苏 10 和苏 53 区块得到了很好的应用,且均取得了良好的效果。

现以 O 井为例,进行应用分析。O 井设计目的层为上古生界二叠系盒八段 6 小层。设计水平段长 720 m,水平段方位 20°,水平段倾角 89.8°,靶前位移 300 m,A 点垂深 3 265 m,B 点垂深 3 266 m(图 4)。

3.1 入靶前调整

水平井成功的一个前提是准确着陆,而入靶前准确调整是成功着陆的关键。

在稳定钻压条件下钻时的变化、岩屑特征、钻井液参数指标、随钻自然伽马值的变化、气测异常以及地层造斜能力强弱变化等均能反映岩性,部分参数还能体现含气性。从进入造斜段开始,即开始对能够反映岩性的指标进行分析,提前建立各参数或指标与岩性关系,做到准确预判井底岩性。

根据钻前研究,水平井区域微构造较发育,在 A 点到 B 点的水平段间要穿越微隆起,但水平段穿越区

域的构造高点不明确(图 4),这是实钻过程中的风险因素之一。

由于工区内目的层以上,仅上古生界石千峰组底部低伽马、高电阻的河道砂岩在全区较为稳定外,其它层段稳定性差,为提高对比及预测精度,在钻前研究过程中选取了 3 个局部范围内相对稳定的岩性及电性上有明显特征的层段作为辅助标志层,从上至下分别为盒八段 1 小层上部泥岩、盒八段 4 小层气测异常砂岩段、盒八段 5 小层气测异常砂岩段(图 5),同时通过构造模型获得相应对比标志的预测数据(表 1)。

实钻过程中钻至 1 小层上部泥岩段时,泥岩变厚,砂岩也发育,随钻自然伽马曲线特征也发生变化,致使参考标志对比精度降低(图 5)。

在垂深 3 229.0 m 处出现气测异常,异常段垂直厚度约 1.5 m(图 5),结合上覆对比标志,经过随钻自然伽马曲线对比分析,该气测异常段为 4 小层气测异常段砂岩。对比结果认为标志层与邻井相应层段垂深浅 6 m,与钻前预测垂深相差 5.9 m(表 1)。由于考虑的调整幅度相对较大,钻头位置距目的层较近,为给工程调整留出空间,决定立刻对靶点进行调整。为使靶点处于气层中最佳位置,为后续水平段钻进顺利开展,综合考虑该区域的微构造以及钻具测深与电缆测深存在的误差等因素,建议将靶点上调 4 m,并根据标志层的深度变化修正构造模型及储层预测模型。

表 1 苏里格气田辅助标志层及目的层顶界预测数据
Table 1 Prediction of top boundaries of auxiliary marker beds and the target zone in Sulige gas field

预测层位	预测垂深/m
1 小层上部泥岩段顶界	3 199.0
4 小层气测异常砂岩段顶界	3 234.9
5 小层气测异常砂岩段顶界	3 249.0
目的层顶界	3 260.7

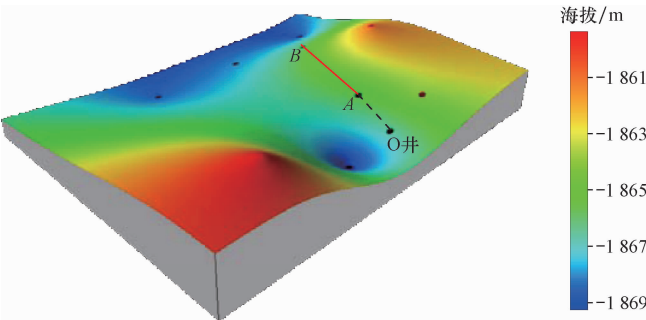


图 4 苏里格气田 O 井区目的层顶面微构造模型
Fig. 4 Top microstructure model of the target zone in Well O block in Sulige gas field

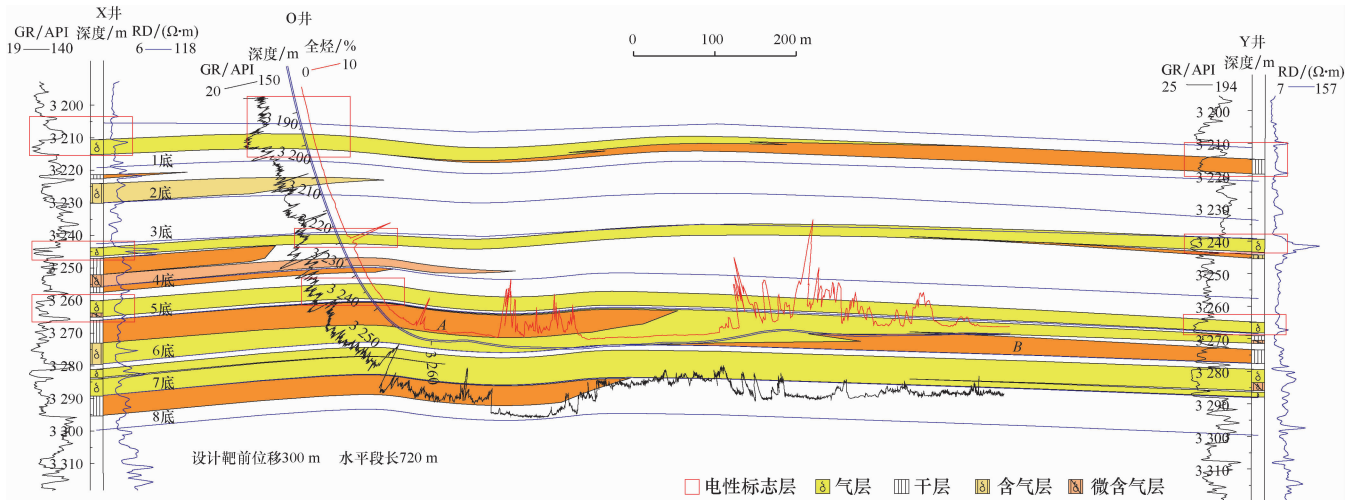


图 5 苏里格气田 O 井实钻轨迹剖面
Fig. 5 Trajectory profile of Well O in Sulige gas field

钻遇 5 小层标志层时,返出岩屑为灰白色粗砂岩,但气测未见异常(图 5),利用上覆地层中多个对比标志组合,对比分析认为当前钻遇的灰白色粗砂岩是钻前选取的 5 小层具有气测异常的砂岩段辅助标志层,但含气性发生了较大变化(在苏里格地区河流相储层纵横向发育变化大,物性受沉积控制,导致储层含气性变化也大,气测异常仅做参考)^[21-22],同时该层的出现进一步证明了调整的准确性。

该井在入靶前对井斜角进行了严格控制,考虑目的层储层厚度以及设计意图,井斜角控制在 83°~84° 着陆。

经过调整,该井一次成功入靶,靶点深度为 3 430 m (MD)/3 260.3 m(TVD),井斜 89.5°,方位 20°。

3.2 水平段调整

水平段的调整集深度调整和角度调整于一体,对于含气性较差或钻遇泥岩的层段要根据修正后的导向模型进行调整。

O 井在三开水平钻进时气测显示差,下调垂深,在 3 496 m (MD)/3 261.5 m (TVD) 处有较好的气测显示,迅速调整轨迹,水平钻进。

钻至 3 610 m(MD)/3 262.2 m(TVD)处气测显示变差,依据修正构造模型调整井斜角,增斜钻进。钻进过程中增斜效果不理想,分析认为已经钻遇微构造侧翼。钻至 3 620 m (MD)/3 262.0 m(TVD)时钻时突然变大,上返的岩屑证实为泥岩,此时结合模型综合分析认为,钻头已经从底界出层。根据修正后的构造模型分析地层产状,地层倾角为 1.0°~1.5°。由于为小井眼钻井,综合考虑井眼曲率及后续下压裂工艺管柱等问题,决定以井斜角 90.5°~91.5° 上调轨迹,在 3 782 m (MD)/3 259.7 m (TVD) 处找回气层,气测效果较好。

水平段钻进过程中还有不确定因素,即构造高点不明确。为规避风险,根据气测显示情况继续让轨迹保持缓慢上走趋势,判断进入气层一定垂直厚度之后,缓慢摆平轨迹,在钻进过程中,利用测斜数据,及时预测钻头位置,按预测构造趋势钻进。后续根据造斜能力、钻时、气测、自然伽马曲线特征适时调整轨迹,防止钻头从储层上部穿出目的层。

3.3 实施效果

O 井完钻井深 4 150 m,水平段长 720 m,砂岩钻遇率为 74.3%,有效气层钻遇率为 66.5%(表 2)。

4 结论

以综合地质研究为指导,通过地震、地质、建模等

表 2 苏里格气田苏 10 和苏 53 区块水平井钻遇情况统计

Table 2 PTR statistics of Su10 and Su53 blocks in Sulige gas field

序号	井号	完钻井深/m	水平段长度/m	砂岩长度/m	砂岩钻遇率/%	有效储层长度/m	有效储层钻遇率/%
1	A	4 225	728.0	660.1	90.67	475.7	65.34
2	B	4 572	1 000.0	741.0	74.10	593.0	59.30
3	C	4 417	909.0	889.0	97.80	716.0	78.77
4	D	4 376	771.0	664.0	86.12	273.7	35.50
5	E	4 324	800.0	625.0	78.13	337.4	42.18
6	F	4 480	1 002.0	978.0	97.60	650.0	64.87
7	G	5 303	1 725.0	1 660.0	96.23	1 128.0	65.39
8	H	4 456	1 001.0	965.0	96.40	653.0	65.23
9	I	4 462	1 002.0	764.0	76.25	524.0	52.30
10	J	4 533	1 003.0	1 003.0	100.00	850.0	84.75
11	K	4 552	1 002.0	869.0	86.73	503.0	50.20
12	L	4 561	1 001.0	867.0	86.61	531.0	53.05
13	M	4 556	1 001.0	707.0	70.63	510.0	50.95
14	N	3 978	528.0	465.0	88.07	307.0	58.14
15	O	4 150	720.0	535.0	74.30	478.8	66.50
平均		4 463	946.2	826.1	86.64	568.7	59.50

多种手段进行储层预测,可提高储层预测精度;选对选准对比标志层,依据随钻曲线加强精细地层对比,是做出合理调整的关键;正确运用钻时、沉积旋回与岩屑粒序特征、地层造斜能力等多种信息,可预判井底岩性,及时进行调整,可减少泥岩段钻遇长度,降低钻井风险;造斜段钻进过程中运用地质导向技术,确保了水平井准确着陆,水平段钻进过程中应用地质导向技术,可使轨迹处于储层最佳位置,提高了砂岩钻遇率及有效储层钻遇率。

参 考 文 献

[1] 王国勇. 苏里格气田水平井整体开发技术优势与条件制约——以苏 53 区块为例[J]. 特种油气藏,2012,19(1):62-65.
Wang Guoyong. Technical advantages and constraints of developing the whole block of Sulige gas filed by horizontal wells—a case of block SU53 [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2012, 19(1): 62-65.

[2] 霍进,史晓川,张一军,等. 新疆油田水平井地质导向技术研究及应用[J]. 特种油气藏,2008,15(3):37-41.
Huo Jin, Shi Xiaochuan, Zhang Yijun, et al. Research and application of horizontal well geosteering technology in Xinjiang Oil Field [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(3): 37-41.

[3] 秦宗超,邢维奇. 水平井地质导向技术在复杂河流相油田中的应用——以曹妃甸 11-1 油田为例[J]. 石油勘探与开发,2006,33(3):378-381.
Qin Zongchao, Xing Weiqi. Application of geosteering technique of horizontal well in complex fluvial reservoir—a case from Caofeidian 11-1 oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 378-381.

[4] 姬生柱,毕雪松. 多学科方法在优化薄油层水平井地质设计及现场导向中的应用[J]. 大庆石油地质与开发,2006,24(4):

- 64-66.
- Ji Shengzhu, Bi Xuesong. Application of multidisciplinary approach in optimization of thin oil reservoir geological design of horizontal well and field geosteering[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2006, 24(4): 64-66.
- [5] 罗万静, 王晓冬, 李义娟. 钻井的眼睛——地质导向理论及实践[J]. *西部探矿工程*, 2006, 18(2): 149-152.
- Luo Wanjiang, Wang Xiaodong, Li Yijuan. The eye of drilling—geosteering theory and practice[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2006, 18(2): 149-152.
- [6] 王道富, 付金华, 雷启鸿. 鄂尔多斯盆地低渗透油气田勘探开发与展望[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(3): 126-130.
- Wang Daofu, Fu Jinhua, Lei Qihong. Exploration technology and prospect of low permeability oil-gas field in Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(3): 126-130.
- [7] 蒋林军. 常规技术条件下水平井大斜度井地质导向技术探讨[J]. *西部探矿工程*, 2005, 14(10): 69-72.
- Jiang Lingjun. Discussion of geosteering technology of highly-deviated well under conventional condition[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2005, 14(10): 69-72.
- [8] 刘波, 刘振, 王广运, 等. 大庆老区水平井地质设计方法[J]. *大庆石油地质与开发*, 2003, 21(5): 46-47.
- Liu Bo, Liu Zhen, Wang Guangyun, et al. Geological design of horizontal well in mature area of Daqing oilfield[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2003, 21(5): 46-47.
- [9] Orangi A, Nagarajan N R, Rosenzweig J. Unconventional shale oil and gas-condensate reservoir production impact of rock, fluid and hydraulic fractures[J]. *SPE 140536*, 2011.
- [10] 马新华. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆气特点与成藏机理探讨[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(4): 230-236.
- Ma Xinhua. Discussion on characteristics and reservoiring mechanism of deep basin gas in Upper Paleozoic in Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(4): 230-236.
- [11] 王志雄, 徐国盛. 鄂尔多斯盆地苏里格庙气田上古气藏成藏机理研究[J]. *断块油气田*, 2003, 10(3): 9-11.
- Wang Zhixiong, Xu Guosheng. Study on forming law of upper paleozoic gas reservoir in Suligemiao gas field, Ordos Basin[J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2003, 10(3): 9-11.
- [12] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 282-298.
- Jiang Zaixing. *Sedimentology*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 282-298.
- [13] 王氏成, 郭亚斌, 杨智, 等. 苏里格南部盒8段沉积微相研究[J]. *岩性油气藏*, 2010, 22(增刊): 31-36.
- Wang Shicheng, Guo Yabin, Yang Zhi, et al. Study on sedimentary microfacies of the eighth member of Shihezi Formation in southern Sulige[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2010, 22(S1): 31-36.
- [14] 何东博, 贾爱林, 田昌炳, 等. 苏里格气田储集层成岩作用及有效储集层成因[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(3): 17-21.
- He Dongbo, Jia Ailin, Tian Changbing, et al. Diagenesis and genesis of effective sandstone reservoirs in the Sulige Gas Field[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(3): 17-21.
- [15] 叶成林, 王国勇, 何凯, 等. 苏里格气田储层宏观非均质性——以苏53区块石盒子组8段和山西组1段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 236-244.
- Ye Chenglin, Wang Guoyong, He Kai, et al. Macro heterogeneity of reservoirs in Sulige gasfield—a case study of the 8th member of the Shihezi Formation and the 1st member of the Shanxi Formation in the Su53 Block[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 236-244.
- [16] 边立恩, 于茜, 韩自军, 等. 基于谱分解技术的储层定量地震解释[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(5): 718-723.
- Bian Li'en, Yu Qian, Han Zijun, et al. Quantitative seismic interpretation of reservoirs based on spectral decomposition technique[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(5): 718-723.
- [17] 王香文, 刘红, 滕彬彬, 等. 地质统计学反演技术在薄储层预测中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(5): 730-735.
- Wang Xiangwen, Liu Hong, Teng Binbin, et al. Application of geostatistical inversion to thin reservoir prediction[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(5): 730-735.
- [18] 闵小刚, 陈开远, 范廷恩. 井-震结合进行河流相储层非均质性表征——以渤海湾盆地黄河口凹陷渤中263油田为例[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(3): 375-381.
- Min Xiaogang, Chen Kaiyuan, Fan Ting'en. Heterogeneity characterization of fluvial facies reservoirs through integration of seismic and logging data—an example from Bozhong-263 oilfield in the Huanghekou Sag, the Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(3): 375-381.
- [19] 石晓燕. Petrel 软件在精细地质建模中的应用[J]. *新疆石油地质*, 2007, 28(6): 773-774.
- Shi Xiaoyan. Application of Petrel software to 3D fine geologic modeling[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(6): 773-774.
- [20] 陈义才, 林杭杰, 唐波, 等. 苏里格地区石炭-二叠系天然气充注特点及充注能力[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(1): 91-97.
- Chen Yicai, Lin Hangjie, Tang Bo, et al. Characteristics and potential of gas charging in the Permo-Carboniferous of Sulige region[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(1): 91-97.
- [21] 罗东明, 陈舒薇, 张广权. 大牛地气田上古生界沉积相与天然气富集规律的再认识[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(3): 368-374.
- Luo Dongming, Chen Shuwei, Zhang Guangquan. New understandings of the Upper Paleozoic sedimentary facies and gas accumulation patterns in Daniudi gas field[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(3): 368-374.
- [22] 李明瑞, 张清, 段宏臻, 等. 苏里格气田上古生界主要含气层系粘土矿物分布及其主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(5): 743-750.
- Li Mingrui, Zhang Qing, Duan Hongzhen, et al. Clay mineral distribution and its controlling factors in the Upper Paleozoic gas reservoirs of Sulige gas field[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(5): 743-750.

(编辑 张亚雄)