Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2020, 10(1), 27-34
Published Online January 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
https://doi.org/10.12677/ag.2020.101004

Hans汉斯

Application of Horizontal Well Geo-Steering Technology in Middle Linxing Block Development

Jia Du

China United Coalbed Methane Corporation Ltd., Beijing
Email: dujia3@cnooc.com.cn

Received: Dec. 27th, 2019; accepted: Jan. 10th, 2020; published: Jan. 17th, 2020

Abstract

Middle Linxing block is the typical tight gas reservoirs with low pressure, low porosity, low permeability and low natural productivity as well as strong reservoir heterogeneity, unstable reservoir distribution and poor reservoir connectivity. During the development phase, due to the limited well control OOIP of vertical and deviated wells, horizontal wells is very efficient way to improve the production. There are micro structure and lithology changes in some local areas, so it is difficult to drill horizontal wells. In order to overcome the difficulties and ensure the success of drilling and improve the rate of reservoir drilling, this paper carries out the reservoir and sedimentary research in the study area from the fine stratigraphic correlation, then, fine depicts the reservoir structural model combined with the results of seismic inversion and prediction and uses the real-time correction of the structural model in the electrical interface while drilling to guide the target. And the fine lithology correlation in the horizontal section is used, combined with the drilling parameters and logging information while drilling curves can accurately identify and predict the structural and lithology changes of the reservoir, which provides favorable support for the adjustment while drilling horizontal wells.

Keywords

Pilot Development Area of Middle Linxing Block, Strong Heterogeneity, Geomodel, Stratigraphy Dip, Geo-Steering

水平井地质导向技术在临兴中区块开发中的应用

杜　佳

中联煤层气有限责任公司，北京
Email: dujia3@cnooc.com.cn

文章引用: 杜佳. 水平井地质导向技术在临兴中区块开发中的应用[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(1): 27-34.
DOI: 10.12677/ag.2020.101004

收稿日期：2019年12月27日；录用日期：2020年1月10日；发布日期：2020年1月17日

摘　要

临兴中区块是典型的低压、低孔、低渗、自然产能低的致密气藏，区内储层非均质性强、分布不稳定，砂体平面连续性差，气田开发过程中面临着直井、定向井井控产量不足的问题，采用水平井开发是提高井口产量的有效办法；局部地区存在微构造及岩性变化，水平井实施过程中有一定的困难。为克服困难，保证钻井成功同时提高储层钻遇率，本文从精细地层对比出发进而展开研究区内的储层及沉积研究，结合地震反演预测结果精细刻画储层构造模型，利用电性界面随钻中实时矫正构造模型指导落靶，水平段采用岩性精细对比结合钻井参数、录井信息、随钻曲线等对储层构造及岩性变化进行准确识别和预判，为水平井随钻调整提供有利支持。

关键词

临兴中先导试验区，强非均质性，地质建模，地层倾角，地质导向

1. 工区概况

临兴中区块位于鄂尔多斯盆地的东缘，晋西挠折带，见图1，矿权面积744.455 km^2，探明地质储量832.25 × 10^8 m^3。本区块储层是典型的低孔低渗低压，岩性致密，自然产能低的致密气藏。

随着临兴中区气田的生产开发过程中，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，水平井因单井产量高、控制储量高，在近两年作为开发试验井型得以在整个区块进行推广。临兴气田先导试验区位于整个临兴区块的东部，做好先导试验区水平井的地质导向技术的研究对于整个临兴区块的开发生产均具有指导意义。临兴先导试验区做好水平井地质导向技术的研究与应用工作，提高储层钻遇率，使井轨迹处于储层最佳位置，同时压裂时候控制缝高，保证产量的同时也要避免沟通顶底部的含水层，优化压裂级数，做到经济有效压裂，提高气井产能[1]。

1.1. 临兴中区块盒八段储层基本地质特征

临兴中先导试验区盒八段储层为典型的三角洲平原水上分流河道沉积，具有多期次性和复杂性等特点。河道整体，连井对比上也可见河道的多期次叠加。

纵向上的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。

平面上砂体呈北西–南东向展布，河道宽度200~400 m不等，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[1]。盒八段常见的砂体叠加模式有垂向切割叠置，侧向切割叠置，横向串联，单层孤立以及垂向堆积叠置等[2]。

1.2. 水平井实施中存在的技术难点

水平井钻井过程中主要存在以下几个主要技术难点：首先研究区域井控程度较低，同时由于河道的

多次迁移，导致有效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；其次地震资料的分辨率有限，不能准确有效的识别单砂层；此外河道多重叠置，不能完整准确的刻画但河道；此外使用 PDC 钻头，岩屑细小混杂，甚至呈粉末状，且滑动钻进时存在碾磨岩屑的情况，导致岩屑代表性较差，粒度判别失真；同时随钻自然伽马曲线及测斜数据由于仪器零长的问题而相对滞后。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[3]。

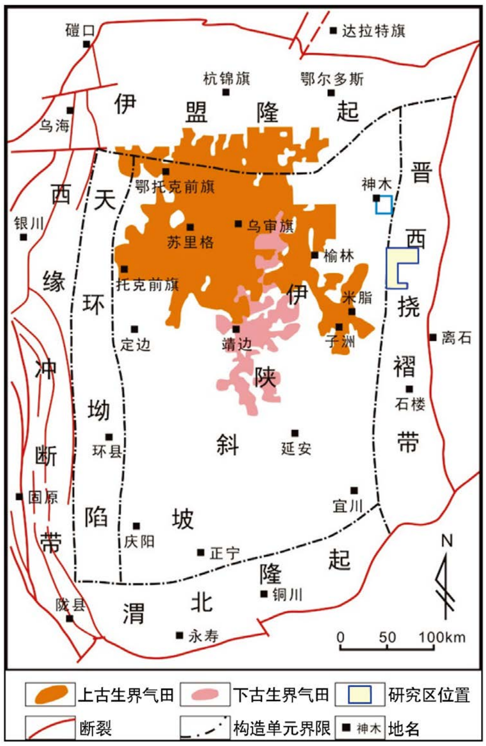

Figure 1. Location of center LinXing block in the Ordos basin
图 1. 临兴中区块位置

2. 强非均质性河流相致密储层水平井随钻跟踪技术

2.1. 水平井眼轨迹的设计

导眼井设计尽量靠近 A 靶点，保证落靶精度，造斜段采用者单增剖面或“上急下缓”的双增剖面[4][5]，使轨迹控制始终占居主动，针对储层倾角确定入窗探顶井斜角，确保准确入窗；如果地层倾角不太确定或者砂体的深度预测不准，则采用探层落靶的方式进行掌控，设计中在落靶之前按照 86~87 度设计一个稳斜段，探砂层可避由于涉及精度问题导致的落靶过浅或者过深。

2.2. 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，见图 2。

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。

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。

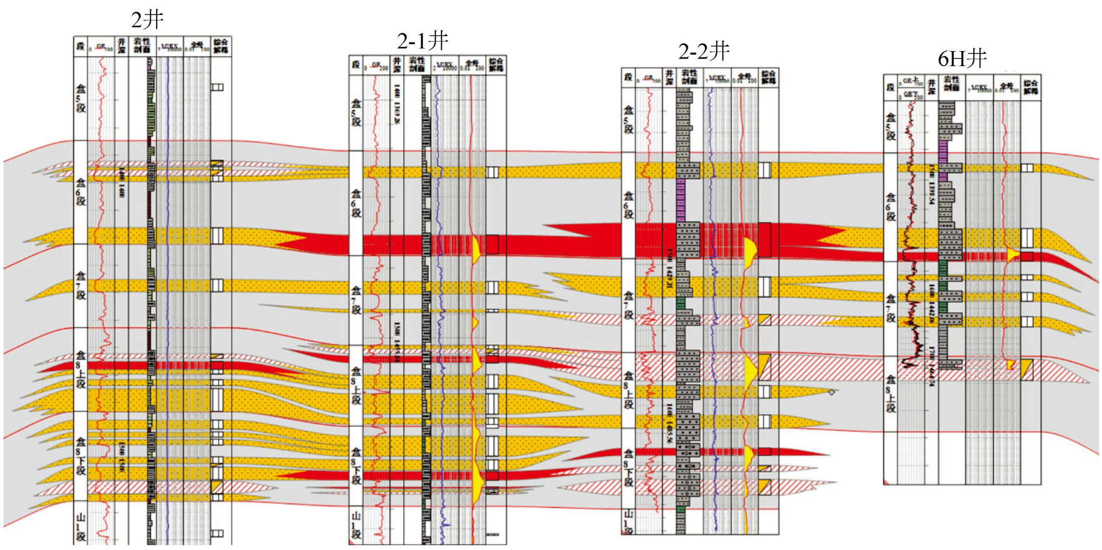

Figure 2. Well correlation of 6H well with the adjacent wells
图 2. 临兴中气田 6H 井水平段目的层与邻井地层对比

2.2.1. 电性对比标志

水平井随钻在二开井段有随钻自然伽马及电阻率曲线，由于电阻率曲线受井斜影响较大，越靠近入窗位置局部会出现电阻率曲线突然增到极大然后急剧减小的现象，即电阻率曲线的极化角现象。所以在实钻过程中，主要随钻自然伽马曲线对比邻井特征计算地层倾角，落靶垂深变化，实时修正地质模型，确保精准落靶[6] [7]。

2.2.2. 岩性对比标志

岩性对比标志主要应用于现场，抓住不同层位出岩屑的岩性、颜色、粒度等特点可以判断层位。一般选择稳定性较好的，具有一定厚度的泥岩段，例如盒 5 段的桃花泥岩。

2.3. 精细构造模型的建立

对水平井钻遇目的层构造的精细刻画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，依据标志利用造斜段砂顶的深度，加入虚拟井从而精细的控制微构造的变化。

2.4. 地层倾角的计算

首先要找到一个发育较稳定的层，可以根据该层的顶底垂深及水平位移计算地层倾角，注意计算地层倾角时，一定要找区域上稳定发育的层，否则计算的地层倾角不具有代表性，且容易造成误导。地质模型塑造大的构造趋势，地层倾角塑造局部微构造。

2.5. 钻头零长段储层岩性的实时预测

实钻过程中，由于随钻测井仪器存在零长，仪器测量的地层信息不能及时直接的反馈到办公室，获取随钻信息存在着一定的延迟时间，这段距离对于地质导向来说是一个“盲区”。

在水平井钻井过程中，随钻人员依据钻压、钻时、扭矩、地层自然造斜能力等相关钻井参数，能够较有效预判井底岩性，达到快速预测井底岩性的目的。利用上返岩屑、气测曲线以及随钻曲线应证岩性及含气性，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。

临兴先导试验区使用的 MWD 随钻仪器伽马零长一般为 12~14 m，定向探管测点距离钻头零长一般为 11~17 m，因探管组装位置及螺杆弯度不同而有所差异，若添加随钻电阻率测量会使定向探管零长增加至 17 m。由于零长的存在，致使地质导向人员无法实时准确的掌握钻头至测量段所钻地层的发育情况以及井斜角等的变化，需要井斜调整时无法实时掌握滑动钻进的效果。对这一“盲区”段储层进行预测，对地质导向人员来说至关重要。

利用三维地质模型，结合实钻钻时、气测录井等信息，结合邻井以及领眼井的沉积旋回组合特征，配合上返岩屑颜色及粒序，预测“盲区”段储层变化状况；利用储层三维地质建模技术，预判钻头前方有效储层的变化。

3. 地质导向技术在实钻中的应用

现场地质导向得到的水平井设计轨迹一般是根据地震资料预测得来的，由于地震资料精度问题以及时深转换的误差，所以会与实钻随钻测量深度存在一定的偏差[8] [9]，以及储层有效砂岩分布的变化，实际地层存在微构造等情况，故实钻的轨迹需要进行调整，见图 3。

水平井随钻跟踪调整按时期可分为造斜段调整及水平段调整两个阶段，其中造斜段调整主要目的是为了确保准确落靶，为水平段有个好的开始；水平段调整目的为使井轨迹尽量平滑并处于储层含气性最好位置，从而获得较高的有效储层钻遇率。水平井随钻地质导向技术临兴中区块的先导试验区得到了很好的应用，且均取得了较好的效果。

现以 6H 井为例，进行应用分析。6H 井设计目的层为上古生界二叠系盒八段上段。设计水平段长 961 m，水平段方位 336°，水平段倾角 90°，靶前位移 450 m，A 点垂深 1459 m，B 点垂深 1459 m。

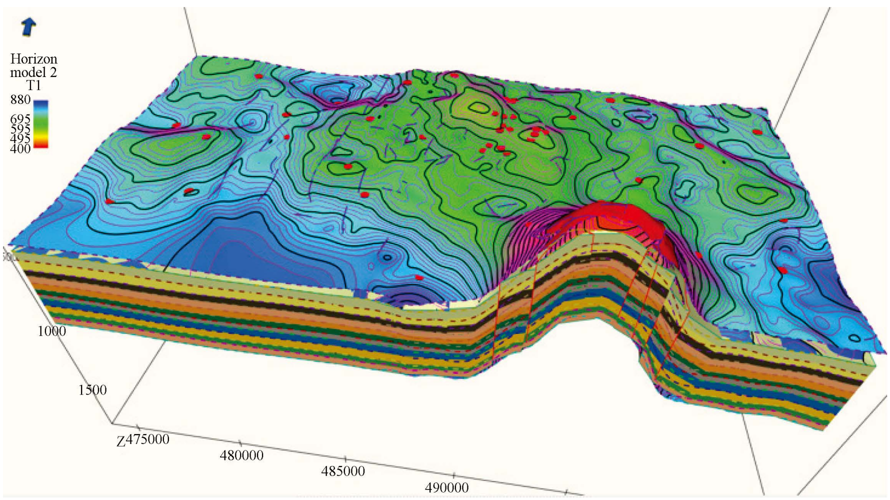

Figure 3. Target layer top micro-structure map of 6H well in the Kangningdong area of center Linxing block

图 3. 临兴中气田康宁东西区 6H 井井区目的层顶面微构造模型

3.1. 落靶姿态调整

精确着陆相当于水平井成功的一半，而落靶前准确调整是成功着陆的关键。着落点地层倾角计算尤为重要。着落点位于砂体中的位置，决定了后期水平段井轨迹的姿态。

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。

根据钻前分析，水平井段微构造较发育，A 点落靶处发育的砂体为薄互层，所以水平段砂体的延伸存在着一定的不确定性，这是实钻过程中的风险之一。

本井二开落靶前选用的是 MWD 带 GR 探管随钻仪器，GR 仪器零长 13.04 m，落靶可通过 GR 曲线和岩屑录井数据共同卡层判断，该井所在台子的直井中，该落靶层是砂泥岩的薄互层，气层有一定起伏，测井解释为差气层，所以入窗难度较大，如何落到低 GR 高气测对于随钻地质导向人员来说是一个考验。

工区目的层为盒八段上部砂岩，以上的地层缺少发育较稳定的对比层，仅有一套盒 6 段底部砂岩在周围有一定的发育，进入盒八段有一个 GR 增加的高 GR 泥岩，配合观察录井岩屑颜色的变化[10] [11]。本井设计落靶垂深为 1459 m，随钻过程中发现地层有大概加深 3~4 m，如果根据原设计落靶可能会造成落靶深度过浅，所以在实钻过程中，井斜达到 87 度的时候采取稳斜钻探一柱，再根据实钻曲线计算微构造地层倾角，及时修正构造模型，及落靶轨迹，再砂顶之上 4 m 左右采取 3 度狗腿增斜至砂顶井斜达到 88.5 度，观察岩屑气测变化，当气测总烃值达到 10%以上，岩屑砂岩变纯，则全力增斜至 89.5 度落靶，此时入砂 1.5 m，根据邻井对比，该层位处于砂岩发育较好位置。

3.2. 水平段井轨迹调整

水平段调整的原则是尽量只调整井斜，微调或者尽量不调方位。由于预测水平段岩性会有一定的变化，所以水平段采用方位 GR 随钻工具进行地质导向，这样可以较有效的判断砂岩顶出、底出或者是侧向出层，该工具 GR 曲线的零长为 13.94 m。根据实钻情况修正地质模型，该井段 A 靶点开始是降斜趋势，所以三开开始整体轨迹以降斜为主。

本井在水平段开始根据地质模型计算地层倾角下倾 0.5 度左右，所以在 89.5~90 度区间钻进，由于三开刚开始钻井，地层自然增降斜趋势并不明显，所以部分测斜点井斜有超过 90 度的现象存在，且在 1844.18 m (MD)/1468.73 m (MD)时气测显示变差，方位 GR 显示上 GR 较下 GR 略高，经过判断认为是顶部出层，地质模型中地层倾角可能较实际略低。于是降低井斜角至 88~89 度区间，待气测岩性重新变好，则以 89~89.5 度区间内稳斜钻进。

在 2148.63 m (MD)/1478.26 m (TVD)处钻时突然变慢，地质循环后气测降至基值，录井岩屑显示为泥岩，结合地震资料及地质认识认为存在两种可能性：一是侧向出层，二是顶出，井斜角略高于地层倾角；若是第一种情况则需要超过一定厚度泥岩段才可重新回到砂岩调整井斜意义不大；若是第二种情况，则实际地层倾角要略低于地质模型，故需要降低井斜且角度大于地层倾角，以尽快追上砂岩，顶部入层，然后根据水平段位移和顶部出层泥岩深度计算可能的地层倾角是下倾 1 度左右，所以调整井斜至 88~88.5 度区间，需要一柱可以追上砂顶，若一柱过后再加一根仍不见砂顶，则可能是侧向出层，通过井斜调整钻至 1870 m (MD)后仍未见砂岩，且结合方位 GR 曲线形态，呈现刀切状，地震剖面上也有波谷变成了复波形态，经过分析判断认为已经钻至两条河道之间的泥岩段，即为侧向出层；结合后半段地层倾角略微上翘的趋势，地质模型中倾角为 0.6 度上倾，认为应该略调整井斜角至 89-90 度区间为后期地层上翘提前做准备，经过调整于 2381.07 m (MD)/1479.6 m (TVD)后重回砂层，且河道边部砂岩较致密，气测值低，进入河道中，砂岩气测逐渐变好。实钻证实，轨迹调整有效，且第二个河道整体含气性较第一段河道要好。

水平段后半段存在地层倾角不确定的情况，整个地质模型中地层倾向是下倾，倾角为 0.5 度左右，但是本井实钻结果呈现略微上翘的趋势，根据钻进过程中薄的泥岩夹层计算实际地层倾角为 1 度上从而修正地质模型趋势，同时紧密结合钻井参数钻时、气测、自然伽马曲线特征适时调整轨迹，防止钻头从储层底部穿出目的层，在斜深钻进了 280 m 后再次钻遇泥岩，根据地震反演、原始剖面、地质认识及随钻情况认为是侧向出河道，且已经达到设计水平段长度 961 m，决定就地完钻。

3.3. 水平井钻探效果

6H 井完钻井深 2706 m，水平段长 961 m，砂岩钻遇率为 72.5%，有效气层钻遇率为 47.2% (图 4)。

井号	层位	水平段进尺m	砂岩m	砂岩钻遇率%	气层+差气层钻遇率%
1H	盒8上	1063.0	1028.0	96.7	74.3
2H	盒8上	707.7	523.0	73.9	41.1
3H	盒8上	735.1	589.2	80.2	16.7
4H	盒8上	796.0	208.0	26.1	11.3
5H	盒8上	1296.0	1151.0	91.1	78.8
6H	盒8上	961.0	697.0	72.5	47.2
平均值	盒8	921.0	699.4	73.4	44.4
7H	太2	857.0	808.0	94.3	46.7
8H	太2	665.5	621.5	93.4	68.3
9H	太2	977.0	775.0	79.3	76.5
10H	太2	1202.0	1149.9	95.7	62.8
11H	太2	1187.0	1175.0	99.0	63.9
平均值	太2	977.7	905.9	90.7	63.6

Figure 4. Statistics of the horizontal wells drilling results in 2019
图 4. 临兴中区块 2019 年水平井钻探效果统计

4. 结论

1) 水平井地质导向以地质认识为基础，结合反演、已有井地质分析、储层地质构造建模等多种手段钻前提高储层预测精度；

2) 选择对比标志层精细预测构造变化，及时调整落靶深度；利用钻时、气测、录井、岩屑等多参数预判井底岩性，保证水平段轨迹在砂岩中间穿行，钻遇两条河道中间的泥岩部分尽量放平井斜减少泥岩段进尺，同时降低钻井风险；

3) 根据地质模型以及地震中地层倾角变化提前增斜或者降斜避免钻出砂层浪费进尺；

通过二开井段及水平段的地质导向工作，有效的提升了砂岩钻遇率及有效储层钻遇率，为钻后压裂增产提供基础。

参考文献

[1] 唐钦锡. 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[J]. 石油与天然气地质, 2013(3): 112-117.

[2] 刘群明, 唐海发, 冀光, 等. 苏里格致密砂岩气田水平井开发地质目标优选[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(7): 1360-1366.

[3] 杨国平, 张吉, 强小龙, 等. 水平井地质导向技术在致密砂岩气藏应用及技术难点——以苏里格气田为例[J]. 天然气勘探与开发, 2014,37(4): 58-62.

[4] 吴则鑫. 水平井地质导向技术在苏里格气田苏 53 区块的应用[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(4): 859-863.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 张吉, 陈凤喜, 卢涛, 等. 靖边气田水平井地质导向方法及应用[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 137-140.

[9] 李吉军, 于航, 严嘉年, 等. 水平井地质导向技术在尕斯库勒油田 N1-N1^2 油藏应用研究[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(5): 960-966.

[10] 郝玉芬, 赵红燕, 章海勇. 岩屑录井水平井地质导向质量控制对策与措施[J]. 江汉石油科技, 2009, 19(2): 27-31.

[11] 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.