

Landing Technology of Horizontal Well in Complex Fault Block Oil and Gas Field in Huanghekou Sag

Chunyu Yao¹, Jun Cao¹, Jinhui Deng², Renguo Yuan¹, Xiangqian Zhang¹

¹Engineering Branch of CNOOC Energy Technology & Services Limited, Tianjin

²Tianjin Branch Company of China National Offshore Oil Corporation (China), Tianjin

Email: yaochy@cnooc.com.cn

Received: Feb. 14th, 2017; accepted: Jul. 8th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

The oil and gas production fields in Huanghekou Sag were mostly complex faulted block reservoirs in the Lower Member of Minghuazhen Formation (N₁m¹). The development wells and infilled wells were mostly horizontal ones in order to improve oil recovery, obtain larger producing profile and increase the fluid supply zones. Safe and efficient horizontal well landing was of critical importance to the development of this type of reservoir. N₁m¹ in Huanghekou Sag was shallow water delta sediment; thin and complicated reservoir was induced by faults, which caused great challenge to the horizontal well landing. The main difficulties in horizontal well landing include: 1) the limitation of prediction accuracy of landing target zone, 2) blind zone existed in the bottom well because of the limitation of LWD tools, and 3) limited space for trajectory adjustment. In order to overcome the above mentioned difficulties, an innovative technique combination of fine and quick correlation and prediction onsite, pioneering mud logging steering in LWD blind zone and landing by proper trajectory smoothening, are used. Good application effect is achieved, and the success rate of landing in the faulted block of N₁m¹ is improved from 85% to 100%. The technique can be further promoted to other oil fields.

Keywords

Huanghekou Sag, Complex Faulted Block Oil and Gas Field, Logging Steering, Fine Contrast and Prediction, Comprehensive Pioneering Mud Logging Steering, Landing by Trajectory Control

黄河口凹陷复杂断块油气田水平井着陆技术

么春雨¹, 曹 军¹, 邓津辉², 苑仁国¹, 张向前¹

¹中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津

²中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津

作者简介: 么春雨(1987-), 男, 工程师, 主要从事海上石油地质录井工作及技术研究。

Email: yaochy@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年2月14日; 录用日期: 2017年7月8日; 发布日期: 2017年8月15日

摘 要

黄河口凹陷主要在产油气田大多位于明化镇组明下段(N_1m^1)的复杂断块。为了提高采收率, 获得更大的产出剖面和供给范围, 该类油气田的开发井、调整井大多设计为水平井。安全高效成功地实施水平井着陆对于该类油气田开发生产至关重要。黄河口凹陷 N_1m^1 为浅水三角洲沉积, 储层厚度薄且受断层复杂化作用明显, 导致水平井着陆作业难度加大。主要问题有着陆目的层预测精度有限; 受随钻测井工具限制, 井底存在盲区; 一旦需要调整, 井轨迹调整空间有限。为此, 应用了现场快速精细对比及预测技术、随钻测井盲区综合录井先锋导向技术、合理平滑化轨迹控制着陆技术等一系列技术组合, 在水平井着陆现场作业中获得了显著效果, 研究区 N_1m^1 复杂断块油气田水平井着陆成功率由此前的85%提高至100%, 实现了提质增效, 且具有良好的推广应用前景。

关键词

黄河口凹陷, 复杂断块油气田, 水平井着陆, 精细对比及预测, 综合录井先锋导向, 轨迹控制着陆

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

黄河口凹陷位于渤海海域南部, 在郯庐走滑断裂作用下, 深浅层断层均较发育, 致使该地区复杂断块构造十分发育, 且表现为复式油气成藏的特点, 油气水系统复杂, 储-断耦合关系决定着油气运移和聚集[1]。

该凹陷主要产层明化镇组明下段(N_1m^1)以浅水三角洲沉积为主, 主要岩性组合为厚层泥岩夹薄层砂岩, 储盖组合条件好, 但砂体厚度较薄, 一般为5~15 m, 呈“泥包砂”特征。为实现 N_1m^1 油气田的高效开发生产, 开发井和调整井大多设计为水平井, 以获得更大的产出面积和供给范围、降低生产压差、提高单井产量和最终采收率, 以及达到少井高产的目的[2]。

2. 复杂断块油气田着陆存在问题

复杂断块油气田水平井着陆难度大的根本原因是着陆目的层厚度薄、断层发育, 受地震分辨率影响,

着陆目的层预测精度有限。由此衍生的问题是如何预测随钻测井井底盲区的着陆目的层的岩性、砂体厚度，以及如何在需要调整井轨迹时合理利用可控的调整空间。

2.1. 着陆目的层预测精度有限

渤海新近系浅水三角洲沉积时，由于湖底地形十分平缓，湖水的加速扩张和收缩，加上河控作用的影响，造成垂向上河道叠加复杂，泥岩发育；三角洲前缘分流河道分叉，改道频繁，砂体平面上呈朵状、片状分布[3]；目标砂体在垂向上及平面上变化均较快。受断层影响，常规地层对比精细程度不足。现场目的层预测主要来自于地震解释，其分辨率达不到油藏开发阶段描述单砂体和薄泥岩夹层的要求[4]，给现场水平井准确着陆带来挑战及风险。

2.2. 随钻测井仪器在井底存在盲区

对地下油藏认识主要通过 2 种井筒技术，一种是综合录井，另一种是随钻测井。其中，综合录井对储层划分不够精确，对含油性识别只能进行定性判断；而随钻测井与综合录井相结合，可对油藏有更加清晰、可靠的认识。但受随钻测井工具结构的影响，井底存在测井盲区。

黄河口凹陷渤中油田水平井着陆一般采用斯伦贝谢公司的 ARC 随钻测井仪，带电阻率和自然伽马 2 条测井曲线。该仪器在井底产生长约 15 m 的测井盲区，无法通过测井识别储层及含油气性。测井盲区对研究区薄砂层着陆成功率产生较大影响；且对井轨迹及时调整及平滑性影响也较大，若按照随钻测井显示地质信息调整井轨迹，会造成井轨迹调整步长较大，进而造成井轨迹调整不及时、不平滑；着陆时过多地揭开储层也会造成后期钻遇有效水平段长度的减少。

2.3. 井轨迹调整空间有限

在储层变化超出预期，及随钻测井仪器存在盲区的情况下，实时井轨迹调整变化显得紧急且迫切。实钻中常遇到两种情况：①应对储层加深，立即降斜找油，造成“板凳型”井眼轨迹；②应对储层提前，立即增斜至储层合理位置，造成局部狗腿度较大，工程实施难度大。为了避免出现上述 2 种情况，首先必须以加大研究储层预测及随钻测井盲区识别为主，使储层识别及预测在可控范围内；其次需要选择科学的找油模型——稳斜找油模式，应对储层微小变化；最后通过研究找到稳斜找油角度与造斜率之间变化关系，选择合理的稳斜找油度，既能降低现场工程作业风险，又能满足油藏地质需求。

3. 应对措施及技术创新

针对上述 3 个问题，通过创新技术与成熟技术相结合，提高储层地质预测信息精度，解决测井盲区问题及平滑轨迹，实现水平井顺利着陆，达到油藏地质目的。

3.1. 现场快速精细对比及预测技术

根据地质油藏要求设计水平井着陆轨迹：在目的层之上，确保实钻轨迹与设计轨迹基本一致；临近目的层时，依据钻遇的标志层，实时校正着陆目的层位置及靶点。实际作业过程中，受预测精度限制，着陆目的层顶深较设计存在一定误差，需要依据现场录井和随钻测井数据，实时调整着陆轨迹。

3.1.1. 着陆目的层段精细划分及建立认识模型

研究区发育浅水三角洲沉积，平面上呈朵叶状分布，垂向上表现为河流相砂体叠加特征。周边已钻井数据分析表明，垂向上电阻率数据对岩性变化敏感，结合测井相中的箱形、钟形、漏斗形、指形及组合形的地质意义及沉积旋回特征，建立了 4 种电阻率曲线着陆认识模型，即陡升型、缓升型、台阶型及夹

层型(图 1)。其中,陡升型对应的岩性组合为泥岩 + 细砂岩组合,储层预测精度高,着陆点选择比较容易;其他 3 种着陆认识模型在泥岩盖层与甜点区(好储层)之间都存在过渡岩性,储层预测误差较大,需要现场精细对比,使井轨迹在储层最优位置着陆。过渡岩性在沉积微相上存在渐变或是多期沉积叠加的沉积过程,岩性主要为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩及其与泥岩的组合,其特征是层薄薄且粒度细。台阶型对应的岩性组合为泥岩 + 粉砂岩 + 细砂岩组合;缓升型对应的岩性组合为泥岩 + 泥质粉砂岩 + 粉砂岩 + 细砂岩组合;夹层型对应的岩性组合为泥岩 + 粉砂岩或是泥质粉砂岩 + 泥岩 + 细砂岩组合。

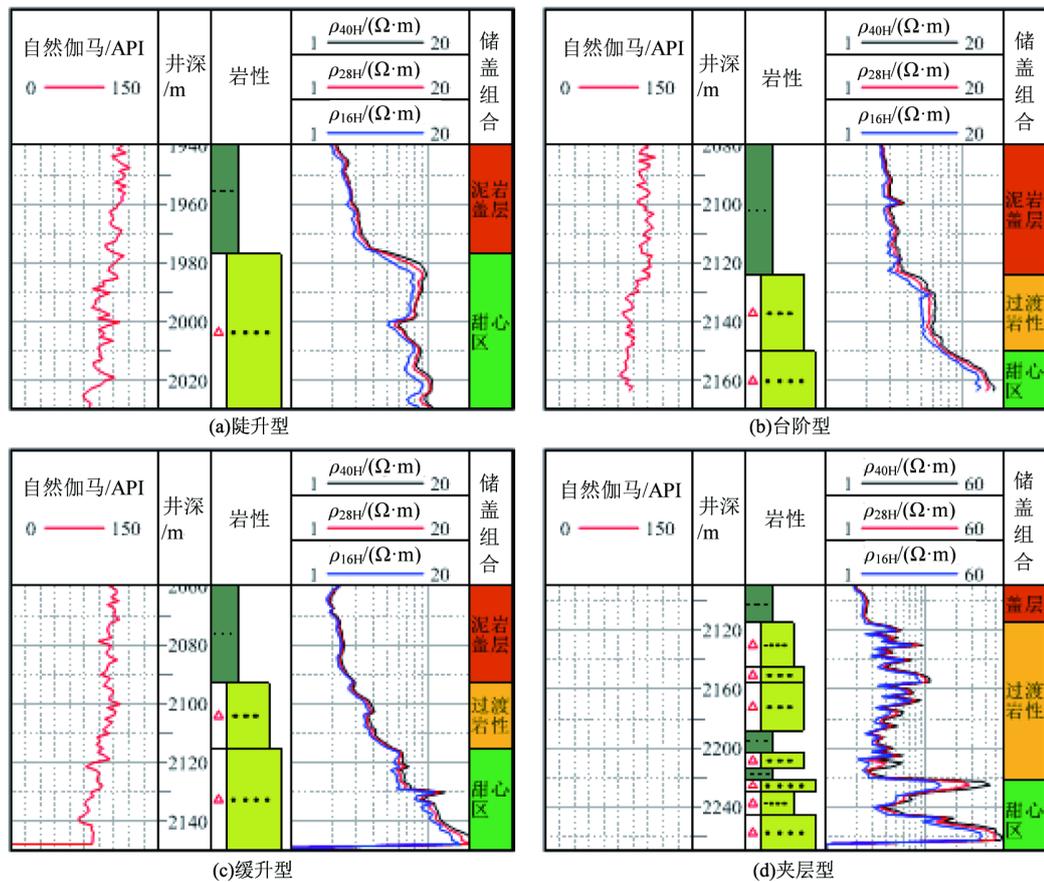


Figure 1. The landing identifying model of resistivity curve in the study area

图 1. 研究区电阻率曲线着陆认识模型

3.1.2. 现场快速精细对比

在现场作业过程中,首先通过多井数据分析对比,优选相同沉积微相的邻井;其次,依据邻井目的层段的电阻率曲线特征,建立本井的着陆认识模型,并在该模型指导下,突出以现场岩性识别为手段,结合电阻率曲线形态及变化趋势,快速建立目的层段岩性组合;再与邻井目的层段岩性组合及模型形态进行精细对比,准确预测着陆目的层的顶部埋深,以适应海上优快钻井的节奏,为着陆井轨迹实时调整提供依据。

常规地层对比(标志层对比法、泥岩等厚度法)范围较大,加之断层的影响,预测误差较大,无法满足近着陆目的层井轨迹的实时调整需求。而精细对比技术具有近目的层、对比尺度小及预测精度高(误差 1~2 m)的优势,能够为近着陆目的层井轨迹实时调整提供依据。

3.2. 随钻测井盲区综合录井先锋导向技术

针对测井盲区问题,充分发挥近钻头综合录井先锋导向作用,对盲区岩性、储层物性及含油气性进行综合定性判断。

3.2.1. 综合录井技术定性判别储层物性

研究区测井参数与钻井参数、气测数据对比分析表明,钻井参数 t_{ROP} (钻时)与随钻测井 q_{API} (自然伽马)、气测曲线 $\varphi(TG)$ (全烃体积分数)与随钻测井 ρ_{40H} 具有很好的拟合关系。此外,储层物性越好,含油饱和度越高、 t_{ROP} 越低、 $\varphi(TG)$ 越高。

通过数据统计及分析得到“甜心区”识别指数 y 为:

$$y = \frac{\varphi(TG)}{t_{ROP}^n} \quad (1)$$

式(1)中的 n 取 1~2 之间,根据不同区块取不同经验值。研究区 17 口水平井着陆段 y 值统计结果表明,甜心区 y 值一般是岩性过渡带的 2 倍以上,其值大于 50。

3.2.2. 综合录井技术定性判别储层含油性

在识别出甜心区的基础上,通过录井气测解释方法,如气体比率法、“3H”比值法等识别出的油气界面[5],以达到水平井着陆找油避气的目的。

3.3. 合理平滑化井轨迹控制技术

在储层精细对比及随钻测井盲区识别的基础上,针对井轨迹调整变化急,选择合理平滑化井轨迹控制技术着陆,可以降低现场施工难度及风险。

3.3.1. 稳斜找油模式

在储层变化可控即储层埋深变化小及加深的情况下,适合稳斜找油模式的应用,该模式主要分为 2 个阶段:稳斜找油阶段(A)和进储层增斜阶段(B)(见图 2)。

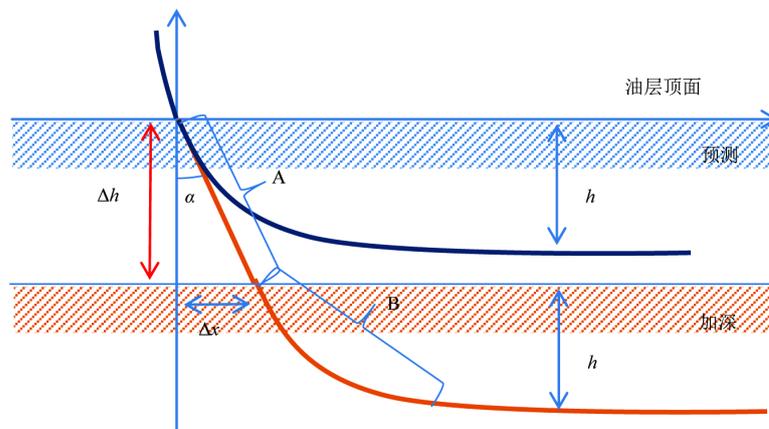


Figure 2. The incline stabilized oil finding model
图 2. 稳斜找油模型

找油公式为[6]:

$$A \text{ 阶段: } \tan \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta h} \quad (2)$$

B 阶段: $k = \left[\frac{(\beta - \alpha)}{f} \right] \times 30$

$$h = f \times \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \tag{3}$$

消去 f , 则:

$$k = \frac{30 \times (\beta - \alpha) \times \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}{h} \tag{4}$$

式中: α 为找油角度, ($^{\circ}$); Δx 为水平段损失长度, m; Δh 为储层顶埋深变化量, m; k 为造斜率, ($^{\circ}$)/m; β 为水平段预留角度, ($^{\circ}$); f 为进尺, m; h 为进储层垂深, m。

根据设计, 可以查出 β 及 h , 进而得到 k 与 α 的变化关系(图 3)。

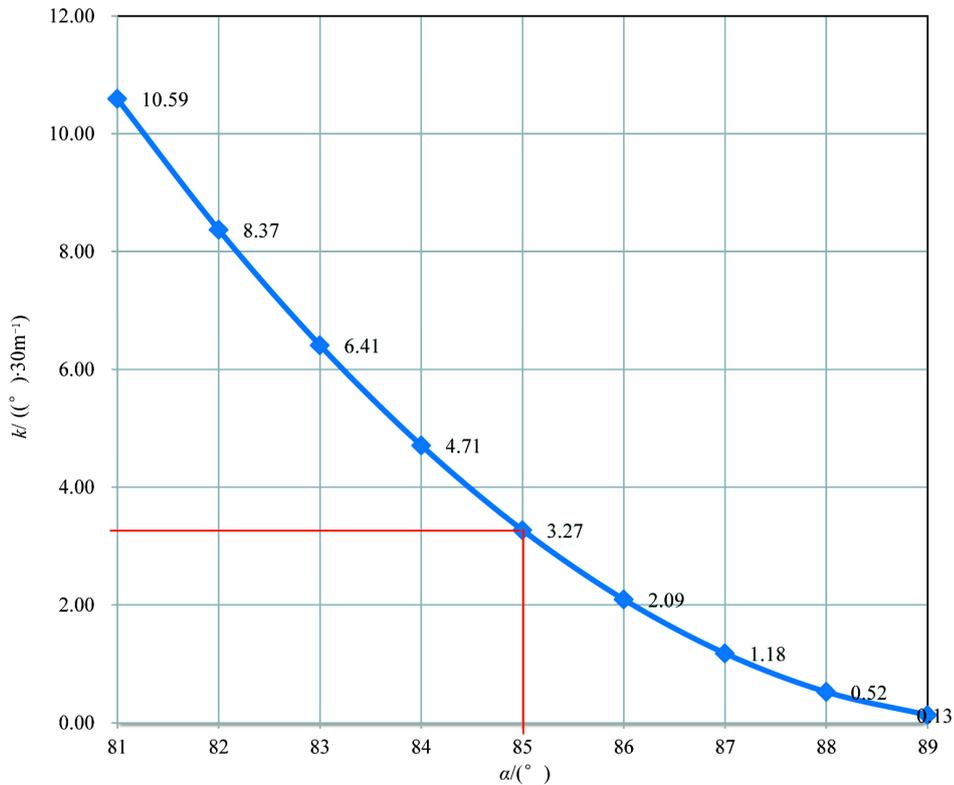


Figure 3. The variation relationship between k and α in the study area
图 3. 研究区 k 与 α 的变化关系图

依据图 3 的曲线变化关系, 在现场可控 $k = 3.27^{\circ}/30\text{ m}$ 下, 选择较小的 $\alpha = 85^{\circ}$, 可以使井眼轨迹平滑; 且 α 越小, 根据 A 阶段公式(式(2)), 在相同储层埋深变化量下, 水平段损失的长度越少。

3.3.2. 非常规着陆补救措施

针对发生着陆目的层变化不可控, 即目的层提前较多或是储层含油有效厚度变薄的情况, 可采用非常规着陆补救措施[7]: ①储层提前较多, 且含油有效厚度较厚, 轨迹控制在现场可控制造斜率下, 直接增斜至储层合理位置; ②储层含油有效厚度变薄, 轨迹调整无法满足油藏需求, 在以实现油藏地质目的的

前提下，优化井型、井别及完井方式，如将水平井优化为大斜度井，以避免回填侧钻作业。

4. 应用效果

复杂断块油气藏水平井着陆技术组合在黄河口凹陷渤中油田获得了良好的应用效果。2015~2016 年，该油田共实施开发井和调整井作业 92 口，其中 N_1m^1 水平井共 40 口，占总井数近一半。水平井着陆成功率为 100%，较 2013~2014 年秦皇岛油田着陆成功率提高了 15%，具有良好的经济效益。

以渤中油田 F9H 井的成功着陆作业为例。

1) 在储层预测方面，该井着陆过程中发现着陆层上部存在粉砂岩夹层，首先通过分析对比得出该井着陆认识模型与邻井 F11 井的夹层型一致；然后再通过现场快速精细对比，得出储层顶预测深度；着陆完成后，精细对比的预测深度与实际深度的误差值为 1.8 m，与地震预测误差值 4.75 m 相比，精度提高了 2 倍多。

2) 在盲区识别方面，采用综合录井先锋导向技术，储层及甜心区的划分准确；通过储层划分交会图版及甜心区识别指数得出的结论，与滞后的测井解释结果一致。

3) 在井轨迹控制方面，采用井轨迹控制技术，使水平井着陆作业安全顺利完成；F9H 井通过计算采用稳斜 86° 找油，在储层加深 0.64 m 的情况下，实现了安全顺利中完，设计着陆进储层垂深 3 m，实际进储层垂深 1.77 m 中完，节省稳斜找油进尺；设计水平井预留角度 91.71° ，实际着陆角度 91° ，达到了设计需求；在着陆时井眼平滑度上，最大狗腿度为 $3.71^\circ/30\text{ m}$ ，在现场可控范围内；最终该井投产初期日产油 162 m^3 ，是配产的 2 倍多。

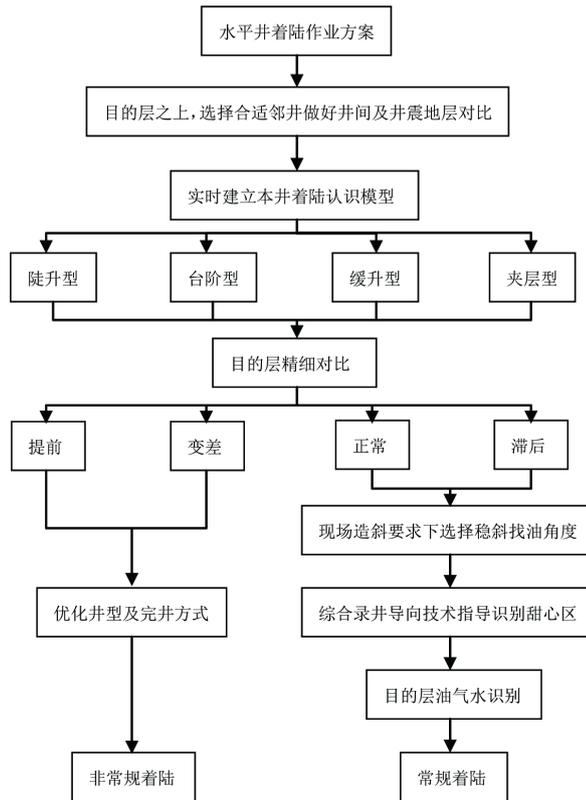


Figure 4. The application system of horizontal well landing technology in the study area

图 4. 研究区水平井着陆技术应用体系

依据上述技术组合应用实践,笔者建立了研究区的水平井着陆技术应用体系(图4),用以指导以后类似井的作业。该技术适用于中浅层复杂断块油气藏,该类油气藏在渤海海域广泛存在,如南堡油田、秦皇岛油田等,且从渤海海域勘探形势来看,中浅层复杂断块油气藏也是未来主要勘探开发目标之一。

参考文献 (References)

- [1] 胡广义, 杨希濮, 古莉, 等. 渤海海域黄河口凹陷新近系多油水系统油藏成因分析[J]. 地质前缘, 2012, 19(2): 95-101.
- [2] 朱高明. 水平井在海上稠油油田综合调整中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2013, 15(4): 51-53.
- [3] 代黎明, 李建平, 周心怀, 等. 渤海海域新近系浅水三角洲沉积体系分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(4): 75-81.
- [4] 吴健, 李凡华. 三维地质建模与地震反演结合预测含油单砂体[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(5): 623-627.
- [5] 王守君, 刘振江, 谭忠健, 等. 中海油勘探监督手册地质分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013: 56-64.
- [6] 罗万静, 王晓冬, 李义娟, 等. 水平井着陆控制模型探讨[J]. 断块油气田, 2006, 13(6): 55-57.
- [7] 罗鹏, 赵彦泽, 袁亚东, 等. 渤海油田水平井着陆实时决策方案的研究及应用[J]. 录井工程, 2016, 27(1): 28-32.

[编辑] 龚丹

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org