

测试压力曲线在海拉尔油田压裂选层中的应用

罗梅

中国石油大庆油田有限责任公司呼伦贝尔分公司 黑龙江大庆 163453

通讯作者:Email:sk_luomei@petrochina.com.cn

项目支持:中国石油天然气股份有限公司油气勘探重点工程技术攻关项目“大庆探区低渗透及海拉尔盆地复杂岩性低渗透储层试油(含储层改造)工艺配套技术研究”(03B411402)

引用:罗梅. 测试压力曲线在海拉尔油田压裂选层中的应用[J]. 油气井测试, 2024, 33(3): 67-71.

Cite: LUO Mei. Application of test pressure curves in selecting fracturing layers in Hailaer oilfield [J]. Well Testing, 2024, 33(3): 67-71.

摘要 海拉尔油田压裂后约 44% 试油层为低产层或干层, 改造有效率低, 需要建立一套适用该区块的压裂选层评价方法。统计 103 口地层测试施工后的压裂试油井资料, 进行测试压力曲线形态与压裂效果的相关性研究, 分析储层信息与压裂增产潜力的关系。根据测试开井流动曲线、关井压力恢复曲线反映的地层渗流能力、污染程度、压力系数、能量衰竭等信息, 将测试压力曲线分为常压高渗型、污染堵塞型、特低渗透型、能量衰竭型(低压型)四类, 制定测试压力曲线分类图版, 指导压裂选井选层。经 37 口井压裂选层现场应用, 综合符合率达到 92% 以上。该方法适用于试油方案优化、老井复查、压裂选层等方面, 显著提高海拉尔油田储层改造有效率。

关键词 海拉尔油田; 储层分类; 地层测试; 压力曲线; 增产改造; 压裂选层; 评价方法**中图分类号**: TE357 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2024.03.011

Application of test pressure curves in selecting fracturing layers in Hailaer oilfield

LUO Mei

Hulunbuir Branch of CNPC Daqing oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163453, China

Abstract: In the Hailaer Oilfield, approximately 44% of the layers tested after fracturing are either low-production or dry, indicating a low efficiency of the stimulation process. This necessitates the establishment of an evaluation method for fracturing layer selection that is suitable for this block. By analyzing the fracturing and testing data from 103 wells, the correlation between test pressure curve patterns and fracturing outcomes was investigated, and the relationship between reservoir characteristics and the potential for increasing production through fracturing was analyzed. According to the formation, including formation permeability, contamination level, pressure coefficient, and energy depletion, reflected in the test well opening flow curves and well shut-in pressure recovery curves, the test pressure curves are categorized into four types: normal pressure high permeability, contamination blockage, ultra-low permeability, and energy depletion (low pressure). A classification chart for test pressure curves was developed to guide the selection of wells and layers for fracturing. Field application of this method in 37 wells achieved a comprehensive conformity rate exceeding 92%. This approach is applicable to optimizing oil testing schemes, re-evaluating old wells, and selecting layers for fracturing, significantly enhancing the efficiency of reservoir stimulation in the Hailaer Oilfield.

Keywords: Hailaer oilfield; reservoir classification; formation testing; pressure curve; production stimulation; fracturing layer selection; evaluation method

海拉尔盆地是大庆油田增储上产的潜力地区, 自 20 世纪 50 年代末开始, 经历了由坳陷盆地向断陷盆地的认识调整, 由常规勘探逐步转向常规与非常规油气并重勘探^[1]。盆地复杂性不仅表现在地质构造上, 储层类型也比较复杂, 主要体现在布达特群裂缝发育储层、兴安岭群含凝灰质储层、南屯组高含泥储层^[2-5]。总体来说是一个多断块、多储

集类型的油田, 低孔低渗储层占比高, 岩性变化复杂, 油水界面不清, 常规自然产能测试一般很难获得工业油流^[6]。

20 世纪末以来, 压裂工艺在海拉尔油田推广应用, 压裂井占比逐步提高至 80% 以上, 越来越多的低渗透、特低渗透储层被发现, 有效支撑了探明储量提交, 成为海拉尔油田重要接替资源, 部分低

产低效区块实现效益开发^[7-9]。笔者统计近五年 93 口海拉尔压裂试油井效果,工业油气层占比 46.2%,仍有约 44%为低产层或干层,经济效益较差。为此,需要建立一套适用于海拉尔油田的科学高效压裂选层评价方法,提高压裂选层精准度和有效性,满足油田效益开发要求。

王鑫鑫等^[10]研究指出,相较于钻井、录井和测井资料,反映储层较大范围内渗流特征的地层测试实测曲线及双对数综合曲线是指导压裂前选层、对压裂效果有效预测的行之有效的办法之一。目前海拉尔油田压裂选层主要基于地质解释参数(岩性、孔隙度、渗透率、含油性等)和邻井压裂效果,对地层测试资料的重视程度和利用较少,部分试油井仅设计二开一关测试制度,无二关井压力恢复数据,无法求取双对数解释曲线,部分试油井直接压裂求产,缺乏测试资料。

杜成良等^[11]为提高塔木查格盆地压裂可行性和有效性,对该区不同测试曲线形态、压力特征以及储层导流能力进行分类和数理统计研究,分析测试成果及录井测井资料与压裂效果之间的内在关系,确定了压裂选层原则,其方法和结论具有借鉴意义。潘金明等^[12]采用油气井试井资料,研究了压裂选层的定性选层、半定量选层技术,压裂井试井压恢曲线形态与压裂效果有较好的相关性,在选层时可利用试井资料,判断压裂井层的油气层信息,预测压裂效果,但其半定量方法仅考虑油气层系数 kh,适应性局限。

张俊法等^[13]采用模糊综合评判方法,全面考虑了影响压裂效果的多种因素,求解了压裂过程中的选井选层问题。针对各种影响因素,在大量

数理统计和理论求解的基础上,给出了可靠的权重和等级划分,建立了相应的数学模型和求解模型,对油井是否可采取压裂措施作出定量判断。欧阳传湘等^[14]主要考虑地质因素的影响,利用层次分析法确定各因素的权重,同时结合灰色关联法计算各候选井与最优井的关联度,最后通过对比排序优选适合压裂的候选井。王坤杰^[15]针对桩 23 北区储层低孔、低渗,自然投产效果差,需进行高效压裂改造提高产能,从储层和施工参数两个方面确定了影响该区压裂改造效果的影响因素和影响因素的关联度及权重,采用灰色关联模糊层次分析法评价影响因素,进一步明确了影响该区块改造效果的主控因素。但后三种方法需要已知地质参数较多,在海拉尔断陷盆地复杂岩性储层可操作性较差。

1 压裂选层原则

压裂增产效果主要受地质因素(有效厚度、地层压力、渗透率、含油饱和度等)和工程参数(固井质量、压裂方式、加液、加砂量等)双重作用的影响^[16-17]。压裂选层是优选具备一定孔渗条件和地层能量的储层,以获得理想的压裂改造效果。地层能量可用地层压力表征,测试压力曲线是储层物性、污染情况、压力恢复能力等信息的综合反映,可以作为指导压裂选层的重要资料。

本文针对海拉尔油田储层特性及试油测试工艺实际,对 103 口先地层测试后压裂试油井的资料进行统计分析,通过测试压力曲线形态与压裂效果的相关性研究,分析内在的储层信息与压裂增产潜力,制定海拉尔油田测试压力曲线分类图版,指导压裂选层(见表 1)。

表 1 海拉尔油田测试压力曲线分类表
Table 1 Classification chart of test pressure curves in Hailar oilfield

项目	I 类曲线	II 类曲线	III 类曲线	IV 类曲线
曲线特征	流动线:较快上升 关井线:压力恢复迅速,拐点出现早,压力稳定快,压力系数接近或者大于 1.0	流动线:缓慢上升 关井线:呈现“S”特征,初期压力恢复较慢,后期压力恢复变快,缓慢趋于稳定	流动线:几乎不上升 关井线:压力恢复缓慢,测试期间未达稳定	流动线:较快上升 关井线:压力恢复迅速,一关井压力系数小于 0.9 或者二关井压力明显小于一关井
储层特性	渗透性好,能量充足	渗透性一般,能量较差	渗透性差,能量不足	渗透性好,地层欠压或者远端供给不足
污染堵塞	较轻	较重	/	较轻
测试产量	低产	微量产能或无产能	微量产能或无产能	低产或者短期高产
是否压裂	可压	可选压	一般不可压	一般不可压

1.1 I类曲线:常压高渗型,地层能量充足,压力恢复速度快,压裂增产效果好

A1井试油井段 2 426.6~2 415.0 m(见图1),首先采用 MFE(Ⅱ)测试,一关井 4 320 min,压力快速上升,很快趋于稳定,实测地层压力 23.57 MPa/测深 2 435.78 m,压力系数 0.97;二开井流动显示明显,测试日产油 0.898 t,压后日产油 31.48 t,增产 35 倍,取得较好效果。

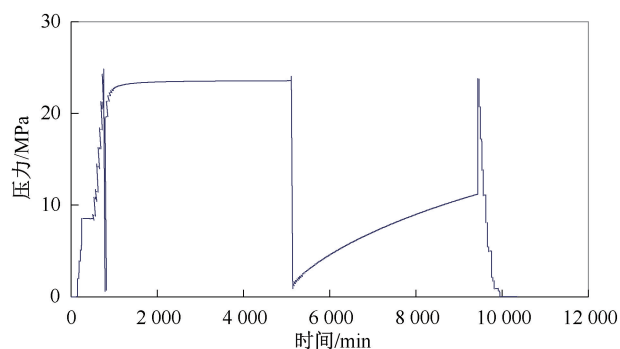


图1 A1井测试压力曲线

Fig.1 Test pressure curve of well A1

1.2 II类曲线:污染堵塞型,压力恢复曲线呈现“S”型,压裂解堵后有一定的增产空间

A2井试油井段 2 064.0~2 056.0 m(见图2),首先采用 MFE(Ⅰ)测试+抽汲求产,一关井 6 285 min,压恢曲线呈现“S”型,实测最高压力 17.69 MPa/测深 2 004.63 m,未稳定;二开井流动显示一般,测试日产油 0.002 t,压后日产油 28.92 t,增产效果显著。

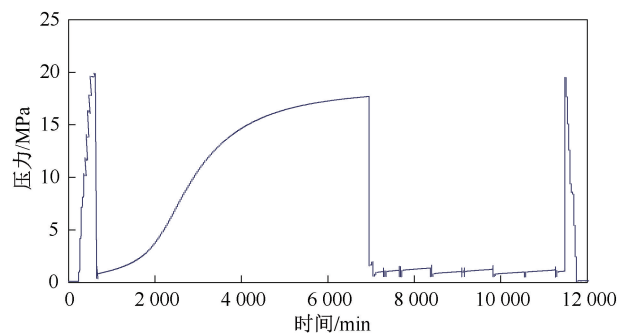


图2 A2井测试压力曲线

Fig.2 Test pressure curve of well A2

1.3 III类曲线:特低渗透型,储层渗透性极差,压力恢复速度慢,干层特征,不建议改造

B1井试油井段 3 313.8~3 311.6 m(见图3),首先采用 MFE(Ⅰ)测试,一关井 6 102 min,实测最高压力 5.00 MPa/测深 3 306.25 m,未稳定;二开井流动显示较弱,测试日产油 0.008 t,压后日产油 0.196 t,增产效果较差,未获得工业。

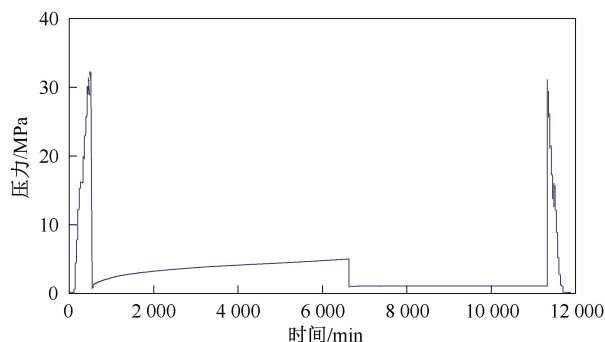


图3 B1井测试压力曲线

Fig.3 Test pressure curve of well B1

1.4 IV类曲线:能量衰竭型(低压型),地层能量不足,压后增产空间有限,不建议改造

该类图版包含 2 种类型,一是高渗低压型,测试压力曲线形态容易与 I 类图版混淆,地层压力很快测稳,但原始地层压力系数低,一般在 0.9 以下,反映地层欠压;二是能量衰竭型,初开井、初关井压力曲线显示为 I 类图版,但经过二开井短期求产后,地层压力无法恢复至原始状态,显示地层能量补给不足,即使压裂后短期高产,也无法稳住,经济价值较低。由于海拉尔油田多数井未采用二关井制度,造成部分能量衰竭型储层无法提前预测,显示为一类储层压后增产效果不明显。

B2井试油井段 1 384.0~1 390.0 m(见图4),首先采用 MFE(Ⅱ)测试+抽汲求产,一关井 4 139 min,实测地层压力 9.86 MPa/测深 1 329.41 m,压力系数 0.74,属于欠压油藏;二开井流动显示明显,测试日产油 3.36 t,压后日产油 3.96 t,增产效果一般。

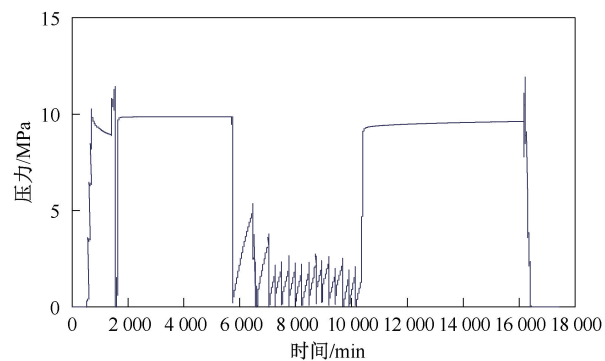


图4 B2井测试压力曲线

Fig.4 Test pressure curve of well B2

B3井试油井段(见图5),首先采用 MFE(Ⅱ)测试+抽汲求产,一关井 3 482 min,实测原始地层压力 9.78 MPa/测深 1 001.94 m,压力系数 0.98;二开井 3 000 min,测试日产油 2.03 t;二关井 7 200 min,测得最高压力 7.16 MPa,压力系数 0.71,未稳定,反映为地层供应不足,属于能量衰竭型油藏,压后日

产油 2.88 t,增产效果不理想。

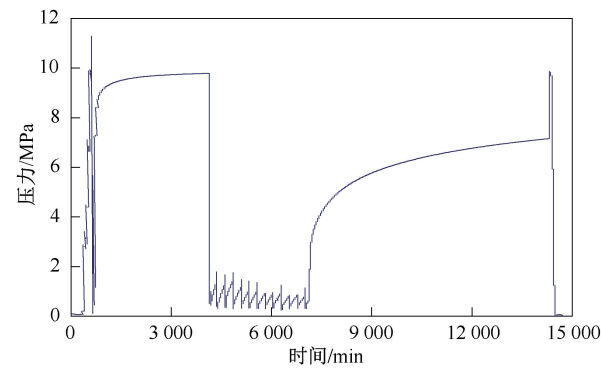


图 5 B3 井测试压力曲线
Fig. 5 Test pressure curve of well B3

表 2 海拉尔测试压力曲线分类图版部分应用效果统计表

Table 2 Statistics of application effects of classification chart of test pressure curves in Hailaer oilfield

曲线 分类	序号	测试地层 压力/MPa	压力 系数	测试产量		压后产量		增产倍数		是否选 层压裂	图版是 否符合
				日产油/t	日产水/m ³	日产油/t	日产水/m ³	油	水		
I	1	23.57	0.97	0.898	0.19	31.480	2.92	35	15	是	是
I	2	24.94	0.96	0.002	0.14	0.416	7.20	208	51	是	是
I	3	15.03	0.98	0.383	/	3.102	5.76	8	/	是	是
II	13	(11.32)	(0.96)	油花	/	0.015	2.40	/	/	是	否
II	14	(17.71)	(0.88)	0.002	/	28.920	/	/	/	是	是
II	15	18.03	0.96	0.032	/	0.228	4.56	7	/	是	是
III	17	12.51	0.92	0.019	0.02	0.048	1.2	3	55	否	是
III	18	(2.13)	(0.09)	/	/	0.290	/	/	/	否	是
III	19	1.18	0.11	/	/	/	/	/	/	否	是
III	20	18.95	0.93	0.146	/	0.396	/	3	/	否	是
IV	32	18.04	0.91	/	/	油花	3.04	/	/	否	是
IV	33	19.07	0.97	0.510	/	1.236	12.72	2	/	否	是
IV	34	22.68	0.88	/	/	0.617	8.08	/	/	否	是

注:()内数据表示关井压力未稳定,为实测最高压力数据。

3 结论

(1)海拉尔油田属于断陷盆地,断层发育,岩性复杂,油水界面不清,压力系统差异性大,存在欠压低压储层。测试压力曲线能够反映地层压力、渗透性、污染情况和能量衰减等信息,因此需要加强地层测试资料的录取,尤其是关井压力恢复资料,为区域试油方案优化、老井复查及压裂选层提供科学指导。

(2)通过统计分析海拉尔油田测试压力资料,系统研究测试压力曲线反映储层特性与增产效果的关系,制定四类测试压力曲线图版,指导压裂选层。该方法简单实用,可靠性强,在海拉尔油田应用符合率达到 92%以上,能够有效提高海拉尔油田压裂成功率。

(3)3 口井测试曲线类型为 I、II 类,压后产水导致油产量增加不明显,原因在于水的流度明显低于油,相同导流能力下,产水会抑制油的产出。

2 应用效果

应用海拉尔测试压力曲线分类图版指导 37 口井进行压裂选层,其中 I 类图版应用 12 口井,2 口井因压后产水影响,油产量增加不明显;II 类图版应用 4 口井,1 口井因压后产水,油产量增加不明显,其余井均取得较好效果。III、IV 图版应用 21 口井,均不推荐压裂,压后效果普遍不好(见表 2)。图版现场应用符合率 92%,证明该方法简单实用,可靠性强,能够有效提高海拉尔油田压裂成功率。

因此,在今后的工作中要加强油水关系的识别,针对测试产水的井,不论水产量高低,均不建议压裂。

致谢:感谢大庆油田有限责任公司呼伦贝尔分公司同意本文公开发表。

参考文献

[1] 李春柏. 海拉尔盆地油气勘探历程与启示[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(3): 374-380.

LI Chunbai. Petroleum exploration history and enlightenment in Hailar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(3): 374-380.

[2] 袁建蓬. 苏德尔特油田布达特潜山风化特征及储层分类[J]. 长江大学学报(自科版), 2016, 13(23): 15-18.

YUAN Jianpeng. The weathering characteristics of budate buried hills and reservoir classification of Sudheer oilfield [J]. Journal of Yangtze University (Nature Science Edition), 2016, 13(23): 15-18.

[3] 张晓峰,潘保芝,范晓敏,等. 海拉尔盆地南屯组凝灰质砂岩储层含水饱和度计算方法[J]. 测井技术, 2009, 33

- (4):345-349.
ZHANG Xiaofeng, PAN Baozhi, FAN Xiaomin, et al. Computational method of saturation of the tuffaceous sandstones reservoir of Nantun group in Hailar Basin [J]. Well Logging Technology, 2009, 33(4):345-349.
- [4] 蒙启安, 李军辉, 李跃, 等. 海拉尔-塔木察格盆地中部富油凹陷高含凝灰质碎屑岩储层成因及油气勘探意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(2):569-578.
- MENG Qi'an, LI Junhui, LI Yue, et al. Genetic mechanism of high content tuffaceous elastic rock reservoir in Hailar-Tamucage basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2):569-578.
- [5] 肖丹凤, 张宗雨, 韩松, 等. 海拉尔深部南屯组高含泥储层压裂增产技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(1):101-105.
- XIAO Danfeng, ZHANG Zongyu, HAN Song, et al. Fracturing stimulation technology for high shale-content reservoirs in Nantun formation in the deep of Hailar basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2012, 31(1):101-105.
- [6] 苏博鹏. 海拉尔油田压裂技术现状与发展趋势[J]. 油气井测试, 2017, 26(6):52-55.
- SU Bopeng. Current situation and developing trend of fracturing technology in Hailar oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(6):52-55.
- [7] 侯启军, 冯志强, 林铁锋. 大庆探区油气勘探新进展[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5):4-9.
- HOU Qijun, FENG Zhiqiang, LIN Tiefeng. New development of oil and gas exploration in Daqing exploration area [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(5):4-9.
- [8] 王洪伟. 大规模压裂注水开发一体化技术在特低渗透油藏的应用[J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(1):102-106.
- WANG Hongwei. Application of integrated large-scale fracturing and water flooding development technology in extra low permeability oil reservoirs [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(1):102-106.
- [9] 李存荣, 张玉广, 刘宇. 海拉尔油田低产低效区块引效压裂治理技术[J]. 石油地质与工程, 2019, 33(3):94-97.
- LI Cunrong, ZHANG Yuguang, LIU Yu. Fracturing treatment technique of low production and low efficiency blocks in Hailar oilfield [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019, 33(3):94-97.
- [10] 王鑫鑫, 霍丽丽, 张辉, 等. 利用地层测试资料指导低渗透砂岩储层压裂改造选层[J]. 油气井测试, 2020, 29(5):54-60.
- WANG Xinxin, HUO Lili, ZHANG Hui, et al. Application of formation test data to guide fracturing candidate for low-permeability sandstone reservoirs [J]. Well Testing, 2020, 29(5):54-60.
- [11] 杜成良, 郭建春, 吕传炳. 利用试油资料进行压裂选层与措施效果预测[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(4):91-94.
- DU Chengliang, GUO Jianchun, LYU Chuanbing. Fracturing layer selection and measurement effect prediction using oil testing data [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(4):91-94.
- [12] 潘金明, 耿福兰, 张志勇. 利用试井曲线进行油气井压裂选层及压裂效果评价[J]. 油气井测试, 2002, 11(5):33-35.
- PAN Jinming, GENG Fulan, ZHANG Zhiyong. Using well test interpretation to select fracture layers and evaluate fracture effect of oil/gas well [J]. Well Testing, 2002, 11(5):33-35.
- [13] 张俊法, 常剑, 杨瑞敏. 用综合评判方法优选压裂井层[J]. 断块油气田, 2001, 8(1):30-32.
- ZHANG Junfa, CHANG Jian, YANG Ruimin. Optimization of fractured formation with comprehensive identification fuzzy theory [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2001, 8(1):30-32.
- [14] 欧阳传湘, 涂志勇, 付蓉. 灰色综合评判法优选压裂井[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(3):101-104.
- OUYANG Chuanxiang, TU Zhiyong, FU Rong. Grey comprehensive evaluation method in the optimization of fracturing well [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(3):101-104.
- [15] 王坤杰. 灰色关联法在储层改造效果因素分析中的应用[J]. 油气井测试, 2023, 32(6):29-33.
- WANG Kunjie. Application of gray correlation method in the analysis of reservoir transformation effect factors [J]. Well Testing, 2023, 32(6):29-33.
- [16] 赵卫蕊, 王杰祥, 王庆, 等. 压裂井油层参数对增产效果的影响分析及应用[J]. 断块油气田, 2007, 14(4):63-65.
- ZHAO Weirui, WANG Jiexiang, WANG Qing, et al. Influence analysis and application of reservoir parameters from fracturing well on incremental result [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007, 14(4):63-65.
- [17] 宋永, 刘春林, 陆仁桓. 影响油层压裂效果的因素分析[J]. 大庆石油地质与开发, 1995, 14(2):38-41.
- SONG Yong, LIU Chunlin, LU Renhuan. Factors effecting fracturing result of oil reservoir [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1995, 14(2):38-41.

编辑 方志慧

第一作者简介:罗梅,女,1986年出生,工程师,硕士,2009年毕业于中国地质大学(武汉)地质学专业,现从事试油工程技术管理工作。电话:0459-5996165, Email:sc_luomei@pet-rochina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市大庆油田有限责任公司呼伦贝尔分公司,邮政编码:163453。