

# The Application of Nitrogen Drilling Technology in Dehui Block of Jilin Oilfield

Shuangjin Zheng<sup>1,2</sup>, Lichun Zhang<sup>3</sup>, Junfeng Li<sup>3</sup>, Feng Zhou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Yangtze University, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>School of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan Hubei

<sup>3</sup>Research Institute for Drilling Technology, Jilin Oilfield Company, PetroChina, Songyuan Jilin

Email: Zhengshuangjin@yangtzeu.edu.cn

Received: Sep. 10<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2016; published: Mar. 15<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 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

---

## Abstract

The deep gas reservoir in Jilin Oilfield was characterized by deep burial, slow drilling rate, high cost, strong reservoir sensitivity and easy pollution, which seriously affected the finding of reservoirs and single well production, and restricted the pace of oil exploration and development. In order to solve the problem, on the basis of analyzing the characteristics of lithology, physical property, formation pressure, fluid in formation, and borehole stability, the feasibility of nitrogen drilling in the block was evaluated; the design of nitrogen drilling scheme, including gas injection parameters, drilling fluid transferring, risk control measures, etc., was expounded; and the application of nitrogen drilling technology in Well Deshen35 was introduced. It provides good reference for applying the technology in the future, and it is beneficial for speeding up oil exploration and development of deep gas reservoir in Jilin Oilfield.

## Keywords

Nitrogen Drilling, Gas Injection Parameters, Feasibility, Construction Plan, Field Application

---

# 氮气钻井技术在吉林油田德惠区块的应用

郑双进<sup>1,2</sup>, 张立春<sup>3</sup>, 李俊锋<sup>3</sup>, 周 峰<sup>3</sup>

<sup>1</sup>长江大学非常规油气湖北省协同创新中心, 湖北 武汉

<sup>2</sup>长江大学石油工程学院, 湖北 武汉

<sup>3</sup>中石油吉林油田钻井工艺研究院, 吉林 松原

作者简介: 郑双进(1983-), 男, 讲师, 博士, 现主要从事油气井钻井完井技术方面的教学与研究工作。

Email: Zhengshuangjin@yangtzeu.edu.cn

收稿日期: 2015年9月10日; 录用日期: 2016年1月8日; 发布日期: 2016年3月15日

## 摘 要

吉林油田深层天然气藏存在埋藏深、钻速慢、成本高、储层敏感性强且易污染等问题, 严重影响了储层的及时发现和单井产能发挥, 同时制约了勘探开发步伐。为解决该技术难题, 在分析吉林油田德惠区块岩性特点、物性特征、地层压力、地层流体及井壁稳定性的基础上, 评价了在该区块实施氮气钻井的可行性, 详细阐述了氮气钻井施工方案设计, 包括注气参数设计、转换钻井液设计、风险应对措施等, 并介绍了氮气钻井技术在德深35井的应用情况, 对于后续推广应用该技术具有良好的借鉴意义, 有助于加速吉林油田深层天然气藏的高效勘探开发。

## 关键词

氮气钻井, 注气参数, 可行性, 施工方案, 吉林油田

## 1. 引言

吉林油田德惠断陷位于松辽盆地南部东部断陷带中部, 是上古生界变质岩系基底之上发育起来的断拗复合双层结构的沉积断陷, 面积 3553 km<sup>2</sup>, 基底最大埋深 7000 m, 发育断陷层和拗陷层两套沉积地层。营城组、沙河子组和火石岭组为断陷沉积, 地层最大厚度达 4250 m, 白垩系嫩江组 - 登娄库组为拗陷沉积。该区块的主要目的层为泉一段、登娄库组、营城组、沙河子组, 储层物性较差, 属低孔、低渗、低压气藏。随着埋深增加, 黏土矿物由伊利石 - 蒙脱石转变含量增多, 岩性膨胀率逐渐增大, 敏感性逐渐增强。另外, 部分层段岩石可钻性差, 常规钻井机械钻速慢, 钻井液浸泡时间长, 储层易污染, 难以准确评价地层的真实产能。因此, 优选钻井方式, 提高机械钻速, 并有效保护储层是开发吉林油田深层天然气藏亟待解决的技术难题。

氮气钻井技术是目前提高机械钻速、保护储层和提高单井产能最直接有效的手段, 国内外应用已越来越广泛[1]。为提高气藏开发效益, 开展了氮气钻井技术攻关研究, 并通过现场试验取得了良好的应用效果, 为吉林油田低压敏感性气藏及深层天然气的高效开发探索了新途径。

## 2. 氮气钻井可行性评价

为保证氮气钻井顺利施工, 在分析该气藏岩性特点、物性特征、地层压力、地层流体及井壁稳定性的基础上, 进行了氮气钻井可行性评价。

## 2.1. 岩性特点分析

德惠断陷暗色泥岩发育, 具备良好的生烃能力, 从上至下依次为嫩江组(底深 100 m)、姚家组(底深 240 m)、青山口组(底深 663 m)、泉头组(底深 1324 m)、登娄库组(底深 1507 m)、营城组(底深 3000 m)。该区块主要目的层为泉一段、登娄库组和营城组。泉一段、登娄库组沉积以河流相沉积为主, 发育边滩、辫状河道等砂体, 单层厚度 5~10 m。泉一段岩性主要以暗紫色泥岩与灰、灰绿色粉砂岩组呈不等厚互层, 局部夹薄层灰白色细砂岩、含钙砂岩。登娄库组岩性为紫红、深紫、紫灰、灰、绿色泥岩与紫灰色泥质粉砂岩, 灰色粉砂岩, 浅灰、灰色细砂岩, 灰色含砾粗砂岩及杂色砂砾岩组成不等厚互层, 与下伏地层呈不整合接触, 属于岩构造 - 岩性气藏。

营城组为湖相沉积, 发育滨湖相砾岩体, 岩性以灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、杂色砂砾岩、绿色砂砾岩为主, 间夹灰色、紫红色泥岩层以及灰、灰黑色粉砂质泥岩, 间夹煤层, 属于断层岩性气藏。

## 2.2. 物性特征分析

据邻井合 5 井岩心分析, 泉一段、登娄库组孔隙度为 8%~14.6%, 一般为 8%~11%; 渗透率为 0.01~16.1 mD, 一般为 0.5~4 mD, 属中 - 低渗气藏, 孔隙结构以粒间孔和溶蚀孔为主, 黏土矿物体积分数低(10%左右), 储层敏感性较弱。

营城组孔隙度为 6%~12.6% (一般为 7%~10%), 渗透率为 0.01~1.39 mD (一般为 0.1~0.5 mD), 属低渗气藏; 孔隙结构以次生孔为主, 微裂隙发育, 黏土矿物体积分数平均为 18.6%, 储层敏感性为中等。

## 2.3. 地层压力分析

德惠区块的地层孔隙压力因数为 0.8~1.0 (表 1), 属欠压至正常压力系统, 满足氮气钻井的压力要求。在进入气层前控制钻速、逐步揭开气层, 同时选择相应的井控装备, 井控风险可控。

## 2.4. 地层出油、水、气情况

通过德深 2 井、德深 12 井等邻井的施工情况分析, 钻井过程中未见油显示, 地层产水量小, 地层水总矿化度平均为 8153.5 mg/L, 钾和钠离子平均质量浓度为 2542 mg/L, 镁、钙离子质量浓度较少(平均为 18 mg/L 和 21 mg/L), 碳酸氢根离子质量浓度平均为 3615 mg/L, 水型以  $\text{NaHCO}_3$  型为主。分析德深 35 井目的层出油出水可能性小, 即使地层出水, 可及时转换成雾化钻井, 以满足携岩的要求。

通过德深 2 井、农 101 井等已钻井的天然气组分分析, 该区块天然气气藏主要是以甲烷为主的烃类气体, 天然气相对密度为 0.6912~0.7215, 平均为 0.7025; 烃类气体甲烷体积分数 80.10%~82.56%, 平均为 81.33%, 乙烷体积分数平均为 7.60%, 二氧化碳体积分数平均为 1.25%, 氮气体积分数平均为 3.27%, 不含硫化氢等有毒气体, 为德深 35 井实施氮气钻井创造了良好的条件。邻井天然气组分如表 2 所示。

## 2.5. 井壁稳定性分析

氮气钻进井段以砂岩、火山碎屑岩、火山熔岩的地层为主, 岩石压实性、胶结性均较好, 强度高。已钻邻井德深 11 井、德深 15 井、德深 16 井等井径扩大率均较小, 泥浆钻井期间未发生井壁失稳现象, 表明该区块井壁相对稳定, 满足实施气体钻井的条件。

## 2.6. 可行性评价

吉林油田德惠区块泉头组、登娄库组、营城组属于中 - 低渗气藏, 储层敏感性为弱 - 中等, 地层压力属欠压至正常压力系统, 不产油, 产水可能性小, 不含硫化氢等有毒气体, 且井壁相对稳定, 因此可以在该区块开展氮气钻井技术。

Table 1. Measured formation pressure of adjacent wells

表 1. 邻井产层实测地层压力

井号	层位	产层中部深度/m	地层压力/MPa	地层压力因数/1
德深 35	登娄库组	1461.5	13.6319	0.8673
合 5	营城组	1671.27	14.526	0.88

Table 2. Natural gas composition analysis of adjacent wells

表 2. 邻井天然气组分分析表

井号	层位	顶深/m	底深/m	日产气/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	相对密度/1	天然气组分及体积分数/%							
						CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
合 5	K <sub>1</sub> q <sub>1</sub>	1327.6	1334.0	5.26	0.69	80.10	6.15	2.52	0.59	0.54	6.81	3.07	0
合 5	K <sub>1</sub> d	1659.4	1671.0	5.98	0.69	82.56	8.06	3.71	0.95	0.90	2.68	0.31	0
合 5	K <sub>1</sub> yc	1852.8	1941.2	0.87	0.72	80.70	8.69	5.05	1.47	1.26	1.20	0.30	0
合 3	K <sub>1</sub> yc	1965.4	1978.0	0.86	0.71	81.28	7.49	4.34	1.22	1.02	2.39	1.31	0

注: K<sub>1</sub>q<sub>1</sub> 为下白垩统泉头组一段; K<sub>1</sub>d 为下白垩统登娄库组; K<sub>1</sub>yc 为下白垩统营城组。

### 3. 氮气钻井施工方案设计

#### 3.1. 井身结构设计

氮气钻井井身结构设计在遵循常规井身结构设计原则的基础上, 还要综合考虑氮气钻井施工安全和钻井成本。在钻井安全方面, 保证技术套管在全掏空条件下的抗挤强度达到安全要求, 将技术套管下至目的层顶部, 封隔上部水层、易垮塌煤层等复杂层段, 实现储层专打。德深 35 井的井身结构数据如表 3 所示, 三压力(坍塌压力、孔隙压力、破裂压力)剖面图和井身结构图分别如图 1 和图 2 所示。

#### 3.2. 注气参数优化设计

氮气钻井注气参数优化设计首先必须满足岩屑正常上返出井筒, 并避免高速岩屑对井口设备造成冲蚀。在氮气钻井时, 井筒环空内为气体和岩屑, 岩屑主要受气体上返时高速流动产生的推力而实现携岩。因此, 在设计气体注入量时, 应综合考虑井眼净化需要、钻具与井壁冲蚀、出水出油处理、井壁垮塌处理、保证气体纯度防爆炸等因素的影响。另外, 在满足岩屑正常上返和井眼清洁的情况下, 应根据地层及地面设备情况, 合理控制排量、钻压、转速等施工参数, 减少对钻井设备的冲蚀[2] [3]。

为了保证气体钻井施工的安全和高效, 提高注气参数设计的科学性和便捷性, 基于 Visual Basic 6.0 程序设计语言及 Access 2003 数据库环境开发了一套气体钻井注气参数优化设计软件。结合德深 35 井的地质条件和施工工况, 对三开氮气钻井注气参数进行了设计, 设计条件: ① 环空介质为氮气; ② 井口回压为 0.1 MPa; ③ 岩屑直径为 2 mm; ④ 井深为 1302~3000 m; ⑤ 井眼为 215.9 mm; ⑥ 机械钻速 6~11 m/h。设计方案如表 4 所示。

#### 3.3. 转化常规钻井液设计

如果氮气钻井无法继续实施, 需替入钻井液。由于井壁岩石表面呈亲水性, 气体钻井后如果直接替入常规水基钻井液极易造成井壁失稳、井漏及储层污染。因此, 应先注入专用的前置液润湿反转剂, 改变岩石润湿性, 再注入转换钻井液。具体步骤如下:

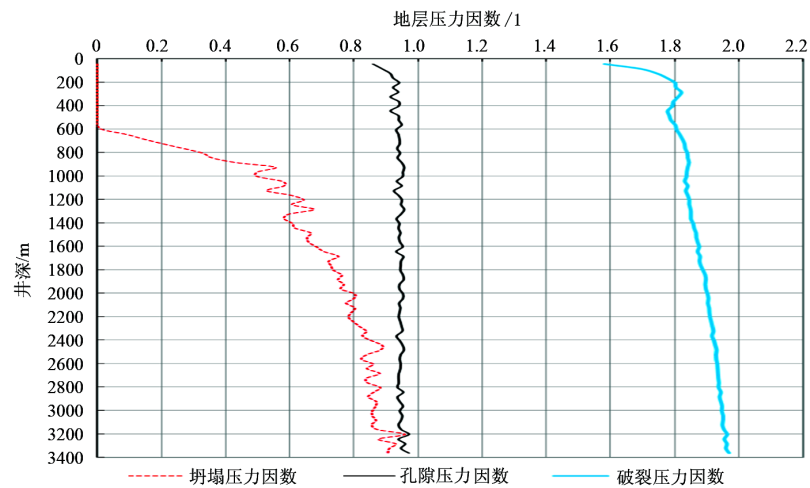
- 1) 氮气钻井需转换为常规钻井时, 首先采用最大气体排量清洗井眼 2~3 周, 将钻头起到技术套管以

**Table 3. Casing program data of Deshen35**  
**表 3. 德深 35 井井身结构数据表**

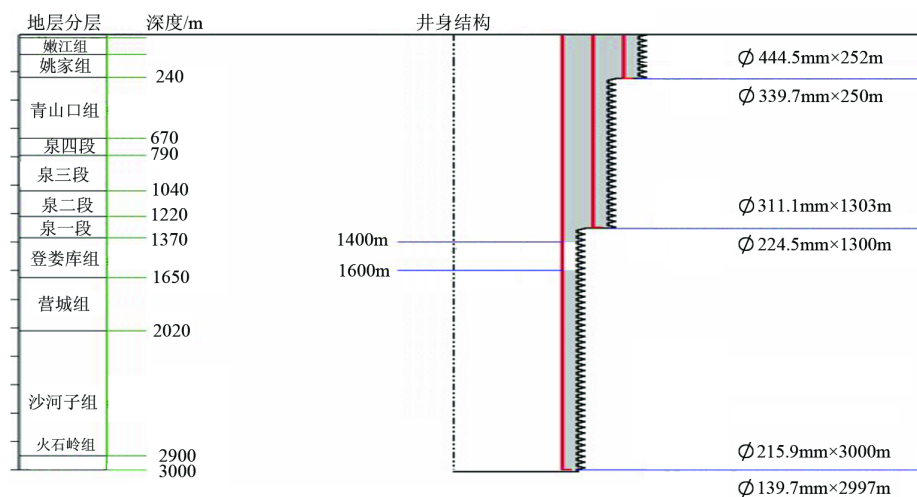
开钻次序	钻头直径 × 井深/(mm × m)	套管直径 × 下深/(mm × m)	套管下入地层层位	环空水泥浆返深/m	备注
一开	444.5 × 252	339.7 × 250	青山口组	地面	
二开	311.1 × 1302	244.5 × 1300	泉一段	地面	
三开	215.9 × 3000	139.7 × 2997	火石岭组	0~1400 1600~2997	双级注固井

**Table 4. Design of gas injection parameters for three open nitrogen gas drilling of Deshen35**  
**表 4. 德深 35 井三开氮气钻井注气参数设计表**

井下情况	井深/m	钻井介质	设计机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	设计注气排量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	设计注液排量/(L·s <sup>-1</sup> )
正常钻进	1302~3000	氮气	9~13	70~110	-
井下出水 < 3 m <sup>3</sup> /h	1302~3000	氮气	7~11	80~120	-
井下出水 ≥ 3 m <sup>3</sup> /h	1302~3000	雾化	6~9	100~140	0.8~1.4



**Figure 1. Formation pressure profile of Deshen35**  
**图 1. 德深 35 井地层压力剖面图**



**Figure 2. Casing program of Deshen35**  
**图 2. 德深 35 井井身结构图**

上,先注入白油,然后再注入转换钻井液;当钻井液返至井口后,分段下钻循环钻井液至井底正常后起钻。

2) 转化为常规钻井过程中,若压力上升快则关闭封井器,用压井液压井。

3) 完成钻井液置换后的入井钻井液性能要达到设计要求,应具有较强的抑制性、润滑性和造壁性,防止转换过程中发生井漏和井塌。若入井钻井液密度不能压稳地层,则用储备压井液进行压井。

### 3.4. 井控风险分析及应对措施

储层氮气钻井与常规欠平衡钻井相比,井控风险主要为:压力冲击、设备冲蚀和可燃气体泄漏燃爆。为了确保氮气钻井安全,在满足欠平衡钻井井控要求的前提下,应结合储层氮气钻井特点和地质情况,进行井控风险分析,制定相关应急方案和技术保障措施。

1) 设备冲蚀集中在地面设备拐弯变向处和节流变径处。技术措施:做好冲蚀监测和冲蚀预防。

2) 井口和排砂管线沿途可能出现可燃气体的泄漏。技术措施:做好旋转防喷器瞬时刺漏和返出通道振松或刺漏处可燃气体的防火防爆工作。

3) 成立现场施工领导小组,明确各组人员组成及职责,统一指挥,协调配合,执行有力,精心施工。

4) 制定应急措施:① 钻遇高压高产油气应急处理;② 地层出液应急处理;③ 井壁失稳应急处理;

④ 排砂管线刺坏应急处理;⑤ 胶芯刺漏应急处理;⑥ 接单根困难应急处理;⑦ 起下钻遇阻卡应急处理;⑧ 内防喷失效应急处理。

## 4. 现场应用效果

2014年在吉林油田德惠区块的德深35井登娄库组储层应用氮气钻井技术,取得重大发现,中途测试获得日产 $7.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产气流,为吉林油田德惠区块敏感性气藏高效勘探开发提供了有效的技术手段。

三开氮气钻井施工井段1308~1480 m,进尺172 m,平均机械钻速10.75 m/h。注氮气排量 $100 \text{ m}^3/\text{min}$ ,氮气纯度95%;后期钻遇天然气层,为了预防井下燃爆,降低氮气排量至 $80 \text{ m}^3/\text{min}$ ,氮气纯度提高到97%。科学合理的设计为氮气钻井安全实施提供了有效的技术保障。

后期由于层产气量较大,考虑到继续实施气体钻井存在较大风险,转换为常规钻井液钻井。完井经测试产气量为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,但是常规钻井液钻井对气层污染严重,建议今后在敏感性气藏采用氮气钻井的方式打开储层并裸眼完井,最大程度地发现并保护油气藏[4]。

## 5. 结论与认识

1) 氮气钻井有利于及时发现、保护油气藏、提高钻井速度,为快速勘探、评价投产创造了有利条件。

2) 德深35井氮气钻井现场试验成功,为吉林油田低压敏感气藏规模高效勘探、评价探索了新途径。

3) 地质与工程有机结合,加强氮气钻井理论研究,制定科学合理的钻井方案及各种工况下的应急措施,为现场安全顺利施工提供了强有力的技术保障。

4) 建议氮气钻井采用全过程欠平衡、裸眼完井方式,最大程度保护油气藏。

## 基金项目

国家油气重大专项(2011ZX05021-006)。

## 参考文献 (References)

[1] 赵业荣,孟英峰. 气体钻井理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社,2007.

- [2] 曾义金. 空气和气体钻井手册[M]. 樊洪海, 译. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [3] Guo, B., Ghalambor, A. 欠平衡钻井气体体积流量的计算[M]. 胥思平, 译. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [4] 刘伟, 李丽, 胥宏图. 氮气欠平衡钻井技术在定向深探井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2): 18-20.