

# 油田开发 科技论文集

何 君 主编  
周建东 韩易龙 副主编

石油工业出版社

# 油田开发科技论文集

何 君 主 编

周建东 韩易龙 副主编

石油工业出版社

## 内 容 简 介

本书精选的 50 篇优秀成果论文是塔里木油田油气开发战线上广大技术骨干在科研与生产实践中形成的技术创新成果,内容涉及油藏工程、采油地面工程、钻井工程等各专业的理论创新和技术进展。本书可供从事油田开发的技术人员、石油院校师生及研究人员学习参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

油田开发科技论文集 / 何君主编.

北京:石油工业出版社,2007.8

ISBN 978-7-5021-6217-7

I. 油…

II. 何…

III. 油田开发-文集

IV. TE3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 120104 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: [www.petropub.cn](http://www.petropub.cn)

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北天普润印刷厂

---

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 16.5

字数: 420 千字 印数: 1—1100

---

定价: 45.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

# 《油田开发科技论文集》编委会

主 编：何 君

副主编：周建东 韩易龙

编 委：高运宗 宋周成 魏云峰 冷 松

李志强 汤 益 赵丽宏

# 前 言

中国石油塔里木油田公司开发事业部自 1992 年 8 月成立到 2007 年已走过了 15 年的辉煌历程。塔里木油田作为国家能源发展战略的主战场,发扬“爱国、创业、求实、奉献”的企业精神,恪守“诚信、创新、求实、奉献”的企业核心理念,团结奋进,锐意进取,以领先国内赶超世界为目标,为建设中国油气资源重要战略基地做出了贡献。

塔里木油田地处号称“死亡之海”的塔克拉玛干沙漠,地面环境极其恶劣,油气成藏地质条件极端复杂。特殊的地面和地下条件,给油气田开发带来了一系列的世界级难题。开发事业部作为塔里木油田公司油气生产的主体单位,充分发挥“两新两高”新体制的优势,积极实施科技兴油战略,结合油田开发的实际,逐步建立了开放型的科技创新体系。针对塔里木油田深层、超深层复杂油藏特点和不同开发阶段所面临的主要矛盾及国内外无成熟经验可以借鉴的情况,按照边勘探边开发、以油养油、滚动发展的原则,从塔里木特殊的地质条件出发,以经济效益为中心,以技术创新为动力实施油田开发。

“八五”、“九五”期间,塔里木油田公司开发事业部全体员工克服了井深、目的层系多、地面条件恶劣、地下情况复杂的困难,在超深水平井钻井、采油技术方面取得突破并应用,很好地解决了塔里木超薄、特殊油气藏的高效开发难题,实现了稀井高产的目标;同时建立了一套适应大深度、低幅度油藏特点的滚动开发技术,产量年均增长  $35 \times 10^4 \text{t}$ ,创造了油气开发的高水平、高效益。随着油气田开发的不断深入,主力油田逐步进入中高含水期。“十五”期间,针对这一阶段的开发特点,塔里木油田深层、超深层砂岩油藏中高含水期动态管理及稳产技术,深层、超深层薄油层开发技术,防腐防垢防砂技术,堵水工艺技术,水平井应用技术,深井稠油开采工艺技术,凝析气田开采工艺配套技术等一系列技术不断取得突破。

截至 2006 年年底共取得了 102 项部级和局级科研成果,已经形成了一整套具有塔里木特色并广泛应用于油气田开发建设的钻井工程、油藏工程、采油工艺和地面工程多项配套技术系列,科技创新的成果有力地推动了塔里木油气开发的进程,开创了我国深层、超深层油田开发的新领域,创造了陆上油田油气开发的高水平和高效益。

15 年来,油气开发逐渐步入规模化阶段,生产基地从 1992 年的 1 个增加到目前的 6 个,陆续投入开发油田 12 个、凝析气田 4 个,累计生产原油  $6293 \times 10^4 \text{t}$ ; 15 年来,原油操作成本连续多年低于国外油公司同期水平,创造了中国石油的最高水平; 15 年来,在科技进步和科技创新的驱动下,塔里木油气开发的今天已呈现出加快发展的大好局面。可以说塔里木油田开发的 15 年,就是科技进步的 15 年,就是开发事业跨越发展的 15 年,就是塔里木开发人艰苦奋斗、真抓实干、开拓创新的 15 年。

为纪念塔里木油田开发事业部成立 15 周年,本书从 285 篇优秀成果论文中精选出 50 篇,其内容涉及了油藏工程、采油地面工程、钻井工程、信息、安全等各专业的理论创新和技术进展,充分展现了油气开发战线上广大技术骨干在科研与生产实践中形成的技术创新成果。

本书的出版得到了各位编审专家的大力支持,在此,谨向编审人员以及论文作者表示诚挚的谢意。

2007 年 7 月

# 目 录

## 钻 井 工 程

低密度水泥浆在塔里木油田深井超深井中的应用

..... 宋周成 秦宏德 乐法国 刘夏荣 李延伟 段永贤 (3)

塔里木油田超深双台阶水平井钻井技术

..... 孙吉军 李 宁 彭晓刚 段永贤 白登相 (6)

大井径长裸眼跨隔中途测试实例分析..... 欧如学 王朝顺 杨国洪 李天楷 (12)

塔里木 KSI01 超深井套管开窗侧钻技术

..... 盛 勇 何 钧 李 宁 宁爱民 李晓青 (14)

HD17C 深侧钻中曲率半径水平井钻井技术 ..... 杨锡亮 王秀平 (19)

超深阶梯式水平井钻井液技术..... 李再钧 任凤君 马光阳 (23)

## 油 藏 工 程

轮南古隆起奥陶系潜山油气成藏机理..... 何 君 韩剑发 潘文庆 (29)

水平井生产测井技术应用

..... 韩易龙 吴 迪 王 海 蒋仁裕 赵丽宏 王建国 童智钧 (35)

柯克亚凝析气藏注气前缘突破判断、调整及注气效果

..... 魏云峰 李志凤 王新裕 崔陶峰 丁国发 牟伟军 康姬英 (41)

注产气剖面高压密闭测试技术在塔里木油田的应用

..... 谭增驹 王成荣 宋 君 韩易龙 王 海 刘志敏 (45)

塔中 16 油田中低渗边水油藏的高效开发实践

..... 任今明 吴 迪 王双才 刘明赐 李 亮 李廷光 (51)

中子寿命测井在轮南油田低阻油藏中的应用..... 刘慧荣 任丽俊 黄 倩 于志楠 (56)

水平井短时间关井静压确定方法研究

..... 王 陶 王双才 乔书校 于志楠 朱元琴 张波 白秋燕 聂丽珍 蒋世子 (60)

YH106 井压力恢复资料分析 ..... 白秋燕 田新建 周 波 唐儒森 吴 健 (65)

嵌入式人工裂缝实时监测技术与现场应用..... 马文婕 韩易龙 黄 倩 田俊艳 (69)

水驱前缘监测新技术在东河油田的应用

..... 于志楠 韩易龙 马文婕 苟柱银 刘慧荣 黄 倩 储玉环 (76)

微地震监测资料在水平井开发底部注水油藏中的运用

..... 任今明 王双才 钟家维 宋军正 田俊艳 (82)

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| 水力压裂试井评价方法研究进展·····                | 马文婕 (87) |
| 注水对水平井生产动态的影响研究                    |          |
| ····· 任今明 韩易龙 周代余 宋军正 何中凯 侯春生 (91) |          |

## 采油地面

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| PCS 柱塞举升系统在轮南 8 井中的应用 ·····         | 周建东 孙 军 沈建新 李文彬 (99)      |
| 塔里木油田污水处理技术探讨                       |                           |
| ····· 高运宗 李光银 单全生 尹思华 蒋余巍 陆 伟 (107) |                           |
| 油田污水处理悬浮物控制与隔氧技术实践                  |                           |
| ····· 杨建文 陈 文 董训长 李 青 滕小利 (123)     |                           |
| 轮南油田液化气联合装置的技术改造 ·····              | 李志铭 杨子海 唐晓东 孙 刚 (126)     |
| JY 型聚油布水器的研制及其在东河塘油田的应用             |                           |
| ····· 何新兴 杨建文 孟 波 孙 军 (131)         |                           |
| 管道内腐蚀检测新技术和新方法 ·····                | 钟家维 沈建新 贺志刚 喻西崇 (133)     |
| 塑料软管内衬管道修复技术 ·····                  | 董训长 杨建文 孟 波 李 青 刘高仑 (139) |
| 一种新的化学生热体系在油井清蜡中的应用                 |                           |
| ····· 潘昭才 李颖川 阳广龙 孙红海 肖 云 任广金 (141) |                           |
| 用浮盘隔氧装置控制供水供热系统氧腐蚀 ·····            | 蒋余巍 陈 薇 何新兴 何光智 (144)     |
| HD4-20H 井异常结垢原因分析及解决办法              |                           |
| ····· 陆 伟 袁学芳 韩永伟 钟家维 刘 强 (146)     |                           |
| 哈得 4 油田地面集油管道清蜡措施及应用 ·····          | 李振禄 (150)                 |
| 含硫稠油射流泵采油工艺 ·····                   | 谢明政 (153)                 |
| 塔里木油田地面工艺防腐技术 ·····                 | 蒋余巍 赵 顶 陈 薇 朱家欢 刘百春 (157) |
| 轮南油田气举优化技术应用 ·····                  | 孙 军 高运宗 潘昭才 (162)         |
| 塔里木轮南潜山灰岩油藏堵水试验评价与认识                |                           |
| ····· 王 玉 赵 顶 徐东启 邱 军 徐广革 冯德成 (169) |                           |

## 天然气、安全、信息

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| 塔里木油田公司开发事业部自动化系统现状及评价 ·····         | 靳呈松 刘启利 吉万成 (179) |
| 基于 LEGATO 的 Oracle 数据库的磁带库自动备份 ····· | 张振华 黄天生 陈晓右 (185) |
| Oracle 数据库优化设计 ·····                 | 陈晓右 (190)         |
| 恒压变频供水装置在哈得油田的应用研究 ·····             | 董志君 薛红兵 (194)     |
| 自动化工业控制系统在塔里木油田开发生产过程中的研究与应用         |                   |
| ····· 伍文峰 董志君 靳呈松 (200)              |                   |
| 提高原料气空冷器冬季运行的安全性 ·····               | 陈新伟 (208)         |
| 从燃烧特性探讨工业动火的安全技术 ·····               | 成福田 陈新伟 巴 特 (211) |

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| 天然气处理装置火灾爆炸事故危险性分析与评价 ..... | 李 祥 成福田 陈新伟 (214) |
|-----------------------------|-------------------|

## 综合管理

|                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 哈得作业区的“降本八式” .....                   | 冷 松 杨 明 孙红江 (223)     |
| 塔里木油田井下作业“五指标”管理初探 .....             | 张延星 刘建勋 (227)         |
| 突出“三重”，保证“三效”，切实抓好石油企业效能监察工作 .....   | 简 新 (231)             |
| 塔里木哈得沙漠油田高效开发措施初探 .....              | 杨 明 (235)             |
| 对油田实施勘探开发一体化的几点思考 .....              | 姜渊明 何 钧 栾翠红 刘 峰 (241) |
| 思想政治工作应注重“情”与“理” .....               | 翟庆华 (245)             |
| OZI 在油田地面工程中的应用 .....                | 王春生 任今明 石增利 苟联社 (248) |
| 以“三个代表”为指导，发挥团组织作用强化提高企业青工职业素质 ..... | 刘淑华 (250)             |



# 钻 井 工 程



# 低密度水泥浆在塔里木油田深井 超深井中的应用

宋周成 秦宏德 乐法国 刘夏荣 李延伟 段永贤

**摘要:**塔里木油田深井超深井漏失性地层的固井特点是,井深一般在5000m以上,油层套管固井环空间隙小,封固段长。为解决其固井问题,室内对低密度水泥浆进行了研究。经对减轻剂以及对低密度水泥配方的优选,得到2套低密度水泥浆配方:(1)中高温,低密度G级水泥:DiaceL-D为100:35~100:45,悬浮剂DI49,缓凝剂D081,降失水剂D158,减阻剂D80A,消泡剂D047;(2)高温,低密度G级水泥:DiaceL-D为100:35~100:45,悬浮剂OMEX-51S,缓凝剂HR-13L,降失水剂DiaceL-FL(液),消泡剂CDF-901或NF-4。实验表明:在不同温度下,两套配方的沉降稳定性能都过关,且悬浮剂用量不大;温度由80℃上升到125℃时,不限水质配浆,水泥浆的稠化、流变和失水性能均较好。现场两口井的 $\phi 177.8$  mm尾管固井应用表明,该低密度水泥浆体系适合塔里木油田深井的窄环间隙、长裸眼段固井。

**关键词:**低密度 水泥浆 深井 超深井 井漏 固井

针对塔里木油田深井超深井漏失性地层的固井特点:井深一般在5000m以上,油层套管固井环空间隙小(20mm以内)、封固段长(1000~2800m),提出了塔里木油田深井和超深井固井水泥浆性能指标。通过室内实验,研究成功了以DiaceL-D作为减轻剂的低密度水泥浆。该低密度水泥浆和其硬化水泥石的性能完全满足原定技术指标,在有效强度范围内得到的水泥浆最低密度为 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。

## 一、室内研究

在分析、归纳总结国内外其他油田成功地使用低密度水泥浆固井实例的基础上,制定出贴近塔里木油田实际的低密度水泥浆技术指标:水泥浆密度为 $1.35\sim 1.50\text{g}/\text{cm}^3$ ;流动度大于22cm;API失水量小于150mL;游离液小于1.0%;稠化曲线正常,稠化时间可调,初始稠度小于20 Bc;在井眼循环温度为80~125℃、压力为21MPa时,24h抗压强度大于3.5MPa、48h抗压强度大于7MPa、96h抗压强度大于7MPa,水泥石体积收缩率小于3.0%、水泥浆沉降稳定性好,药水可经受4~6d的陈化考验。当井眼循环温度大于93℃时,在93℃条件下测量游离液。

### 1. 减轻剂的优选

在室内对膨润土粉、D075(水玻璃)、DiaceL-D(主要成分为硅藻土)进行了试验。通过试验发现:在添加剂、水泥、水质、温度和压力条件相同的情况下,用三者分别配制浆液相对稳定、均匀、密度为 $1.40\text{g}/\text{cm}^3$ 的水泥浆时,含预水化膨润土粉的水泥制浆较困难,稠化曲线爬坡较严重,稠化时间偏长,重复性不好且强度低;含D075的水泥浆也较困难,稠化曲线爬坡且上台阶;使用含有DiaceL-D的水泥配制水泥浆较容易,浆体的流动性好,

稠化曲线正常, 时间可调, 24h 抗压强度大于 3.5MPa, 且游离液量低, 因此选择 DiaceL-D 作为减轻剂。

## 2. 低密度水泥的组成

用 G 级水泥加 DiaceL-D (减轻剂) 与 G 级水泥、DiaceL-D 加硅粉进行室内实验表明, 在其他条件相同的条件下, 掺硅粉与不掺硅粉都能配制相对稳定的水泥浆; 掺硅粉后稠化时间长、API 失水量高, 水泥石抗压强度较低、收缩率较大、渗透性较好。因此, 选择使用 API G 级 (HSR) 水泥直接与 DiaceL-D 按一定比例混合组成低密度水泥。采用 G 级水泥与 DiaceL-D 分别以不同比例进行试验, 得出了水泥与 DiaceL-D 的最佳配比为 100:35~100:45。

## 3. 低密度水泥浆配方设计

根据原定低密度水泥浆的试验温度范围, 结合塔里木油田现用的油层套管或尾管固井配方, 经过试验, 得到 2 套低密度水泥浆配方, 具体配方如下:

(1) 中高温、低密度水泥浆的配方 (最佳使用温度为 80~115℃, 最低的密度为 1.35g/cm<sup>3</sup>), 低密度 G 级水泥: DiaceL-D 为 100:35~100:45, 0.3%~0.5% 的悬浮剂 D149, 0.2%~2.3% 缓凝剂 D081, 6.0%~10.8% 降失水剂 D158, 0.6%~1.6% 减阻剂 D80A, 0.2%~0.3% 消泡剂 D047。

(2) 高温低密度水泥浆配方 (最佳使用温度为 105~125℃, 最低密度为 1.35g/cm<sup>3</sup>), 低密度 G 级水泥: DiaceL-D 为 100:35~100:45, 1.2%~1.5% 悬浮剂 OMEX-51S, 1.0%~2.0% 缓凝剂 HR-13L, 8%~12% 降失水剂 DiaceL-FL (液), 0.2%~0.3% 消泡剂 CDF-901 或 0.2%~0.3% NF-4。

用以上 2 套配方得到的低密度水泥浆各项性能均能达到原定技术指标, 其中 API 失水量 (在 150mL 以内) 和 24h 抗压强度优于原定技术指标。

## 4. 低密度水泥浆性能研究

实验表明: 在不同温度下, 2 套配方低密度水泥浆的沉降稳定性能都过关, 且悬浮剂用量不大; 温度由 80℃ 上升到 125℃ 时, 不论使用何种水质配浆, 水泥浆的稠化、流变、失水性能均较好, 符合原定技术指标的要求, 适合塔里木油田深井的窄环间隙、长裸眼段固井; 对水质的适应能力都较强, 配好的药水在室温下放置 4~5d 再测, 水泥浆的稠化时间都略有增加, 其他性能变化不大; 使用不同的配方、不同的水质, 水泥浆的 24h 抗压强度均大于 3.5MPa; 在相同的条件下养护 48h, 强度均有不同程度的增大, 且都不小于 7.0MPa; 在 21MPa、150℃ 下养护 4d, 水泥浆的抗压强度均大于 48h 的强度; 水泥石的体积收缩率变化不大 (均小于 3.0%), 说明水泥石的热稳定性好, 而且从水泥石养护 48h 的试块垂直剖面看, 水泥与 DiaceL-D (硅藻土) 的反应比较完全, 结构较均匀。

# 二、现场应用

## 1. T-2 井 $\phi 177.8\text{mm}$ 尾管固井

该井井深 5365m, 在 4457~4650m 井段有 8 个盐水层, 压力体系上高下低。钻井液密度为 1.25g/cm<sup>3</sup> 时井底有渗漏现象。封固段长 2526.77m。替浆泵压高, 水泥浆顶部和底部温度相差 45℃, 既要保证施工安全, 又要使顶部水泥浆在尽可能短的时间内满足强度要求, 这就对水泥浆的各项性能提出了高要求。水泥浆中 G 级水泥: DiaceL-D 为 100:38, 密度

为  $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ ，失水量为  $106\text{mL}$ ，流动度为  $25\text{cm}$ ，流变性好， $48\text{h}$  抗压强度为  $10.5\text{MPa}$ ，水泥浆在顶部温度下养护  $3\text{d}$  的抗压强度为  $9.6\text{MPa}$ 。

现场施工时，为确保水泥浆密度均匀，采用了三级混拌配浆方式。为提高顶替效率，注入  $3\text{m}^3$  清水作冲洗液，有效层流隔离液用量为  $10\text{m}^3$ ，注入平均密度为  $1.36\text{g}/\text{cm}^3$  的低密度水泥浆  $62\text{m}^3$ 。施工全过程顺利，最高施工压力为  $18\text{MPa}$ 。憋压候凝  $48\text{h}$  后测井，水泥浆返高达到设计位置，固井质量合格，油气层段固井质量全优。

## 2. LG8 井 $\phi 177.8\text{mm}$ 尾管固井

该井  $\phi 244.5\text{mm}$  套管下至井深  $2600.84\text{m}$ ，完钻井深为  $5146.34\text{m}$ ，钻井液的密度为  $1.18\sim 1.19\text{g}/\text{cm}^3$ ，井底温度为  $108^\circ\text{C}$ 。裸眼段长，井底压力系数低，用普通密度水泥浆固井无法保证水泥浆返高，因而采用低密度水泥浆固井。水泥浆性能为嘉华 G 级水泥：Diacel 为  $100:40$ ，密度为  $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ ，失水量为  $52\text{mL}$ ，流动度为  $25\text{cm}$ ， $48\text{h}$  抗压强度为  $14\text{MPa}$ 。施工使用了有效层流隔离液  $4\text{m}^3$ ，采用三级混拌方式注入平均密度为  $1.37\text{g}/\text{cm}^3$  的水泥浆  $60\text{m}^3$ 。固井质量合格，经受住了试采的考验。

现场实践证明，该低密度水泥浆体系各项性能均能满足现场施工的需要，达到了原定技术指标的要求。而且具有以下优点：浆体配制简单，现场可操作性强，水泥浆的大、小样重复性好；稠化过渡时间短，有利于防气窜；流动度、流变性能好；失水量较小，浆体稳定；抗压强度发展较快，适合长封段、低压易漏地层固井。

## 三、结 论

(1) 低密度水泥浆，浆体沉降稳定性好、流变性好；失水量较低、稠化性能过关、稠化过渡时间短且早期强度较高，具有防气窜功能；水泥石热稳定性好，可以延长油气井的使用寿命。

(2) 用 DiaceL-D 作减轻剂的低密度水泥浆配方简单，现场可操作性强。

(3) 用 DiaceL-D 作减轻剂的低密度水泥浆适用于塔里木油田深井和超深井的井下情况。

原载于《钻井液与完井液》2002 年第 19 卷第 2 期

# 塔里木油田超深双台阶水平井钻井技术

孙吉军 李 宁 彭晓刚 段永贤 白登相

**摘要:** 由于受特殊的地面环境的限制,塔里木油田为实现高产、稳产的目标,决定采用水平井钻井技术实现油藏调整,以水平井开发为主,实现了“稀井高产”和边际油田整体采用水平井的高效开发。塔里木油田组织了超深水平井钻井技术攻关,关键技术不断突破,重点工艺技术不断优化,DH1-H3井的成功标志着一套国内领先的超深双台阶水平井钻井技术应用获得成功。

**关键词:** 超深 双台阶水平井 钻井技术

DH1-H3井是塔里木盆地塔北隆起东河塘断裂带东河1背斜构造上的一口中曲率超深双台阶式水平井,完钻井深6326m,在陆地上已完成的阶梯式水平井中属世界级钻井难题,水平段靶区要求为靶半高1m,靶半宽10m,与同类水平井相比靶区缩小了1~2倍,创塔里木油田超深水平井设计靶区半径最小纪录。通过精心施工,实际完井周期130d,比计划周期提前80d,圆满完成了设计钻探任务。

## 一、技术难点

(1) 用 $\phi 215.9\text{mm}$ 钻头钻完双台阶水平段至完钻井深6326m,属于世界级超深水平井,对人员素质、设备及钻具质量等要求非常高。

(2) 井深钻具负荷重,一旦出现复杂情况,受钻具自身条件限制,处理能力和处理手段有限。

(3) 井眼轨迹控制精度要求很高,水平段靶区要求为靶半高1m,靶半宽10m,与同类水平井相比靶区缩小了1~2倍。施工中轨迹控制起来非常困难。大多数水平井靶区要求是靶半高2~3m,靶半宽20~30m。

(4) 地层温度高,对MWD随钻测斜仪工作环境影响严重,严重时仪器将停止工作。国产螺杆耐高温能力差,使用一段时间后,螺杆定子胶皮就开始老化脱胶,易造成螺杆事故。

(5) 由于井太深排量受到机泵条件限制,上返速度低,岩屑不能充分返出井口,造成岩屑床堆积。

(6) 深井,一旦井下出现复杂情况处理起来非常困难,钻井液性能的要求非常高,要确保井壁稳定,井下安全。

(7) 超深井下部地层研磨性强,PDC钻头保径及齿磨损严重。

## 二、直井段施工分析

自开钻到安全钻至造斜点深5483.02m用时63.5d,并成功地将 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管下

至井深 5146.9m。直井段重点作了以下一些工作。

### 1. 优选 PDC 钻头

本井二开选用了新四通  $\phi 311.15\text{mm}$  ST915BD 钻头, 井段自 1850~5110m, 累计进尺 3174m, 累计纯钻 438h, 平均钻速 7.25m/h, 该钻头在二开钻进中使用非常成功, 在加快钻井速度方面发挥了重要作用。

### 2. 优化钻井参数

根据钻头的特性再考虑井身质量和钻头特点等因素, 牙轮钻头加压在 160kN 左右, PDC 钻头加压在 20~60kN。在井深 5110m 以下井段使用 100r/min 以上的转速。由于机械钻速很快, 为了满足携砂的要求, 使用大排量, 5150m 以上井段排量基本上保持 37L/s 以上, 以下的  $\phi 215.9\text{mm}$  井眼排量也在 28L/s 左右, 泵压均在 20MPa 以上。

### 3. 防止钻井事故及复杂情况的发生

超深井、长裸眼井避免工程事故甚至比提高钻井速度还重要, 这是一项关键而又棘手的工作:

(1) 防斜打直, 打直是安全的前提, 为了避免狗腿的出现或井斜位移的超标, 首先在二开开始打直领眼, 采用小钟摆钻具结构(钻头+双根+扶正器+单根+扶正器)配合以高转速; 其次使用先进的自动送钻装置, 钻压和钻速都非常均匀, 直井段井斜最大不超过  $1^\circ$ 。

(2) 调整好钻井液性能, 使用好钻井液净化设备。上部长裸眼大井眼段, 要克服井环空大, 钻井泵排量低、泵压高, 地层造浆粘切难以控制, 粘切高则泵压高, 粘切低则很难悬浮携带岩屑等不利因素, 采取对硬脆地层的垮塌加足包被剂、泥页岩抑制剂、清洁剂, 巩固井壁, 改善泥饼质量, 稳定钻井液的性能。

(3) 适时短起下, DH1-H3 井使用的主力钻头都是 PDC 钻头, 进尺高, 纯钻时间长, 为了避免虚泥饼的加厚, 适时进行短起下钻是非常必要的。

### 4. 安全顺利下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管

$\phi 244.5\text{mm}$  技术套管下入深度 5146.9m, 实际最高负荷 390t, 裸眼长度 4216.74m。为了能安全顺利地将套管下入, 必须注意:

(1) 认真通井, 且充分循环处理钻井液;

(2) 全面检查设备, 下套管时, 抓好配合, 尽量缩短套管静止时间;

(3) 及时测量钻井液液面, 在 3000m 循环一次, 开泵要慢, 顶通后, 先用小排量循环, 根据情况提高排量;

(4) 为减小负荷, 掏空 70 根近 800m, 减小质量, 操作时强调不猛提、不猛刹。

## 三、定向井段施工分析

本井采用直—增—增—增—增—稳—降—增—稳剖面, 定向造斜成功后, 选择不同角度的单弯动力钻具配合 PDC 钻头来获得需要的造斜率, 利用 MWD 无线随钻测斜仪跟踪控制井眼轨迹。以 ESS 多点数据确定井眼轨迹, 通过调整和控制动力钻具的工具面, 可以获得比较稳定的井眼全角变化率, 使得实钻井眼轨迹与设计的井眼轨迹始终相吻合, 实钻轨迹数据及中靶情况见表 1。

### 1. 斜井段施工

(1) 第一趟钻。从井深 5483.02m 开始造斜, 使用  $1.5^\circ$  单弯增斜钻进, 钻进到井深

5535.17m, 进尺 52.15m, 纯钻时间 35h, 机械钻速 1.5m/h。井斜由 0.9°增加到 11.71°, 井斜变化率为 20.73°/100m; 方位由 210.71°变化到 251.86°, 方位变化率为 78.91°/100m, 全角变化率为 21.18°/100m。由于本井设计第一段造斜率为 30°/100m, 而实际造斜率为 20.73°/100m, 达不到设计要求, 所以下趟钻必须下入 1.75°单弯增斜。由于设计方位为 260.97°, 实际方位比设计小 9°, 所以下趟钻必须增斜增方位。

表 1 实钻轨迹数据及中靶情况

| 井 型                                       |     | 开 发 井           | 设计轨道类型    |             | 直—增—增—增—稳—降—增—稳 |               |            |           |
|-------------------------------------------|-----|-----------------|-----------|-------------|-----------------|---------------|------------|-----------|
| 补心高 (m)                                   |     | 9.00            | 方位 (°)    | 260.97      | 实际井深 (m)        | 6326.00       |            |           |
| 实际造斜点(m)                                  |     | 5483.02         | 靶前位移 (m)  | 250m        | 水平段长 (m)        | AB: 150       | CD: 205.35 |           |
| 实<br>钻<br>井<br>身<br>剖<br>面<br>及<br>用<br>时 | 井段名 | 井段<br>(m)       | 段长<br>(m) | 井斜 (°)      |                 | 方位 (°)        |            |           |
|                                           |     |                 |           | 变 化         | 变化率             | 变 化           | 变化率        |           |
|                                           | 直井段 | 0~5483.02       | 5483.02   | 0~1.93      | —               | 0~225.08      | —          |           |
|                                           | 增斜段 | 5482.02~5624.60 | 141.58    | 1.93~43.90  | 29.64           | 225.08~273.54 | 34.23      |           |
|                                           | 增斜段 | 5624.60~5721.02 | 96.42     | 43.90~57.20 | 13.79           | 273.54~270.84 | 2.80       |           |
|                                           | 增斜段 | 5721.02~5849.39 | 128.28    | 57.20~86.06 | 22.48           | 270.84~264.54 | 4.91       |           |
|                                           | 水平段 | 5849.39~5999.54 | 150.15    | 86.06~86.58 | 0.35            | 264.54~261.96 | 1.72       |           |
|                                           | 降斜段 | 5999.54~6037.47 | 37.93     | 86.58~80.60 | -15.77          | 261.96~161.14 | 2.16       |           |
|                                           | 增斜段 | 6037.47~6120.39 | 82.92     | 80.60~86.12 | 6.66            | 161.14~261.93 | 0.95       |           |
| 中<br>靶<br>情<br>况                          | 水平段 | 6120.39~6326.00 | 205.61    | 86.12~88.80 | 1.30            | 261.93~259.04 | 1.41       |           |
|                                           | 靶点  | 斜深<br>(m)       | 垂深<br>(m) | 井斜<br>(°)   | 方位<br>(°)       | 横距<br>(m)     | 纵距<br>(m)  | 位移<br>(m) |
|                                           | A 点 | 5849.39         | 5710.75   | 86.06       | 264.54          | 1.79          | 0.68       | 250.00    |
|                                           | B 点 | 5999.54         | 5715.07   | 86.58       | 261.96          | 5.72          | 0.06       | 400.00    |
|                                           | C 点 | 6120.39         | 5728.76   | 86.12       | 261.93          | 6.99          | 0.13       | 520.00    |
|                                           | D 点 | 6326.00         | 5736.79   | 88.8        | 259.04          | 2.66          | 0.16       | 725.32    |

(2) 第二趟钻。从井深 5535.17m 开始增斜, 使用 1.75°单弯增斜钻进, 钻进到井深 5583.50m, 进尺 48.33m, 纯钻时间 28h, 机械钻速 1.73m/h。井斜由 11.71°增加到 32.99°, 井斜变化率为 44.03°/100m; 方位由 251.86°变化到 273.29°, 方位变化率为 44.34°/100m, 全角变化率为 44.46°/100m。使用 1.75°单弯增斜钻进, 造斜率较高, 平均达到了 44.03°/100m, 最高达到了 62°/100m, 井斜达到了理想的效果, 为下步导向钻进奠定了基础。由于本井直井段造斜点处的闭合方位为 186.05°, 位移 30.97m, 而设计方位为 260.97°, 这样设计方位线与实际形成了 74.92°的夹角, 所以定向时就必须将方位定大, 经过设计计算, 将方位定到 273°最佳。

(3) 第三趟钻。从井深 5583.50m 开始使用 1.5°单弯增斜钻进, 钻进到井深 5708.91m, 进尺为 125.41m, 纯钻时间 87h, 机械钻速 1.44m/h。井斜由 32.99°增加到 56.45°, 井斜变化率为 18.71°/100m; 方位由 273.29°变化到 270.99°, 方位变化率为 -1.83°/100m, 全角变化率为 18.75°/100m。

(4) 第四趟钻。从井深 5708.91m 开始使用 1.5°单弯增斜钻进, 钻进到井深 5815.77m,



进尺为 106.86m, 纯钻时间 52h, 机械钻速 2.06m/h。井斜由 56.45°增加到 78.05°, 井斜变化率为 20.21°/100m; 方位由 270.99°变化到 265.01°, 方位变化率为 -5.60°/100m, 全角变化率为 20.85°/100m。井深 5692~5699m 为油气层, 由于上提钻井液密度过大, 造成钻井液粘切较高, 虚泥饼较厚, 定向钻进时托压严重, 多次出现了蹩泵和粘卡现象。本趟钻机械钻速较高, 主要是导向钻进时进尺较快, 平均钻时在 10min/m。根据甲方靶点上提 (A 点上提 2m, B、C、D 点各上提 3m) 通知, 入靶前的轨迹要作调整, 原来剖面设计的入靶造斜率 25°/100m 调整到 35°/100m 时才能入靶。

(5) 第五趟钻。从井深 5815.77m 开始使用 1.5°单弯增斜钻进, 钻进到井深 5886.74m, 进尺为 70.97m, 纯钻时间 32h, 机械钻速 2.22m/h。井斜由 78.05°增加到 89.34°, 井斜变化率为 15.91°/100m; 方位由 265.01°变化到 263.34°, 方位变化率为 -2.35°/100m, 全角变化率为 16.08°/100m。本趟钻是入 A 点的关键一趟钻, 根据设计垂深的调整, 为确保能准确探明油顶深度, 保证井眼轨迹能准确着陆中靶, 我们卡准了几个标志层, 增斜钻进至 5840m、垂深 5710.47m、井斜 85.2°时, 采用转盘 45r/min 导向钻进方式, 以 8°/100m 造斜率微增钻进, 当钻进到 5849.63m 时, 井斜 86°, 垂深 5711.05m, 达到了理想的效果, 准确地进入了 A 点, 顺利地进入了水平段施工。

从井深 5483.02m 开始造斜钻进至井深 5849.63m 进入 A 点, 366.54m 的斜井段共用 5 趟钻完成, 用时 386h, 创同类型水平井新纪录。

## 2. 水平段施工

(1) 水平段第一趟钻。从井深 5886.74m 开始使用 1.25°单弯水平段钻进, 钻进到井深 5915.03m 起钻, 进尺 28.29m, 纯钻时间 8h, 机械钻速 3.54m/h。井斜由 89.34°变化到 88.67°, 井斜变化率为 -2.37°/100m; 方位由 263.34°变化到 262.41°, 方位变化率为 -3.29°/100m, 全角变化率为 4.05°/100m。

本趟钻进尺少, 主要原因是出现了卡钻事故, 损失时间 248h。水平段钻进至井深 5915.03m, 开泵上、下活动两次, 测斜后上、下划眼两次后, 接单根开泵后, 下放钻具时遇阻, 上提遇卡 210~260t (原悬重 210t), 立即卸掉单根, 开泵活动 (190~260t) 无效, 钻具被卡, 钻头位置在井深 5900.92m。期间注解卡剂 3 次, 测卡点一次, 提至 220t 转 32 圈下压至 118t 解卡, 事故解除。卡钻解卡后, 通过通井处理钻井液降密度, 钻井液性能良好, 达到钻水平段的要求, 定向钻进时也不拖压, 机械钻速较高。

(2) 水平段第二趟钻。从井深 5915.03m 开始使用 1.25°单弯水平段钻进, 钻进到井深 6115.59m, 进尺 200.57m, 纯钻时间 45h, 机械钻速 4.46m/h。井斜由 88.67°变化到 87.0°, 井斜变化率为 -0.83°/100m; 方位由 262.41°变化到 260.67°, 方位变化率为 -0.81°/100m, 全角变化率为 1.16°/100m。通过通井处理钻井液降密度, 钻井液性能良好, 达到钻水平段的要求, 定向钻进时也不拖压, 机械钻速较高。钻进到 5999.79m 第一水平段结束, 用时 364.5h (其中卡钻通井 258h)。

本趟钻进尺较多, 与其他同类型的水平井相比速度快, 主要原因是: ①合理的钻头选型, 本井选用 M1965D 钻头, 牙齿较大 (19mm), 容易切削地层, 进尺较快。其他井用的是 M1365D 钻头, 牙齿较小 (13mm), 不易切削地层, 进尺较慢。②轨迹控制得好, 复合钻进多, 加快了钻进速度。③钻井液密度 (1.23 g/cm<sup>3</sup>) 比其他井低, 可钻性好, 加快了钻进速度。

(3) 水平段第三趟钻。从井深 6115.59m 开始使用 1.0°单弯水平段钻进, 钻进到井深