

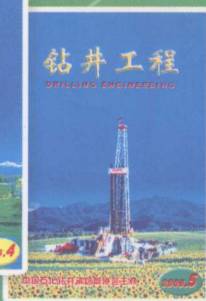
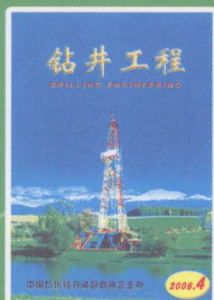


中国石油化工集团公司

钻井承包商协会论文集

(2006年)

主编 雍自强 刘汝山



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

Learn to learn

自主学习合作学习实践文集

（第二辑）

（初中·高中·大学）



中国石化出版社

CHINA PETROLEUM PUBLISHING HOUSE

中国石油化工集团公司 钻井承包商协会论文集

(2006 年)

主 编 雍自强 刘汝山
编 委 于文平 李占英 孙丙向
王太平 赵金海

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国石油化工集团公司钻井承包商协会论文集. 2006 /
雍自强, 刘汝山主编.

—北京: 中国石化出版社, 2007

ISBN 978-7-80229-304-5

I. 中… II. ①雍…②刘… III. 油气钻井—工程技术—
文集 IV. TE242-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 054374 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

中原石油报社彩色印刷厂排版印刷

全国各地新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 36.75 印张 887 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

定价: 90.00 元

前 言

2006 年以来,广大钻井工作者按照中国石化的发展战略,克服困难,励精图治,在钻井理论研究和工艺技术创新方面做了积极的探索和努力,积累了许多成功的经验,一方面通过钻井、钻井液、固井等方面的技术创新和项目攻关研究,解决了钻井施工过程中的技术难题;另一方面,通过引进、消化国外先进技术,开发、应用先进工具,加大了钻井新技术推广应用,促进了钻井技术水平的提高。

为了总结交流中国石化钻井行业在技术进步、钻井工具与仪器、钻井装备、钻井管理等方面取得的成果,进一步推动钻井技术和管理水平的提高,满足油气勘探开发对钻井工作的要求,全面提高钻井技术水平,保持中国石化钻井系统的技术优势,中国石化钻井承包商协会从协会各会员单位中征集了 96 篇钻井方面的论文,旨在加强技术交流,达到互相学习、互相促进、共同提高之目的。论文集共分钻井工艺、钻井液与完井、装备与工具、管理与发展四部分。

本论文集的编辑出版得到了中国石化钻井承包商协会理事会等领导的高度重视,各会员单位和相关单位也给予了大力支持,在此谨向他们表示衷心的感谢。由于时间仓促,水平有限,编辑过程中可能有许多不足之处,敬请各位同仁批评指正。

中国石化钻井承包商协会编审组

2007 年 2 月

目 录

钻井工艺

川东北地区钻井新技术应用分析	杨玉坤(1)
油气上窜速度实用计算方法探讨	张桂林(8)
屯 1 井钻井技术	马升武 马 峰 仇仲荣 杜文军(14)
江汉油田黄盐平 2 井与黄 18—3 井成功对接钻井技术	王 伟(23)
焉耆盆地山前构造马 5 井直井防斜技术	时江涛 唐兰泽 姚顺利 丁卫峰等(29)
江苏油田长靶前位移水平井轨迹控制技术应用	吴叶成 陈小元 刘海涛(34)
旋转地质导向系统在 TK238H 水平井的应用	王土权 张荆洲 焦延安等(39)
宾参 1 井钻井技术	李亚飞 庞建新(43)
空气钻井技术在老君 1 井的应用	魏学成 翟建明 张新旭 裴建忠(52)
普光气田空气钻井技术应用分析	张金成 位 华 于文红(61)
毛坝 3 井深井储层连续取心技术	韦谷运 李明君(67)
自动垂直钻井系统纠斜性能仿真	赵金海(72)
毛开 1 井复杂情况实践认识	张联波(79)
塔深 1 井寒武系钻井技术实践认识	范忠平(85)
塔河油田水平井钻井技术应用与发展	翟科军 武 波(95)
井身结构优化设计方法探讨	唐志军(102)
哈得 2—7H 井旋转地质导向钻井技术应用实践	李 涛(108)
三维“Z”形斜面圆弧井眼轨迹控制技术	谢学明 彭正洲(118)
新 1 井严重破碎地层钻井技术与分析探讨	姚良秀 刘会斌 王广书(122)
安全复合钻井技术应用分析	白俊成(127)
轮古地区提高钻井速度探讨分析	范中平 王万红 孙卫友(131)
气体钻井水力计算	陈永明 燕修良 曹 强 万秀琦(137)
三维绕障及拱型阶梯水平井钻井技术	李文倩 张学光 刘 军 巩同标等(141)
北部斜坡带配套钻井技术研究与应用	姜红波 吴天乾 樊德友 刘中信(146)
普光地区钻井技术现状与发展趋势	肖国益 赵 朋 周亚贤 张麒麟(151)
高难度定向井、水平井钻井技术在冀东油田的应用	王 荣 亢青岭等(159)
疏松及破碎地层取心技术探索	栗广科(168)
欠平衡钻井技术在腰深 1 井的应用	韩 强 陈永明 张林伟 高 强(174)
超深井长段尾管磨铣工艺技术	任云贞 魏学成 魏金新 宋建厂(179)
φ139.7mm 套管开窗侧钻存在的问题及对策	张克胜 胡宏涛(186)
红参 1 井 φ444.5mm 井眼取心技术	李忠寿 王高勇 朱礼军 刘朝阳(191)
张 1401 井长裸眼大斜度双靶定向井钻井技术	时江涛 张 瑜 李爱国等(198)
空气钻井技术及其在川东北陆相地层的应用	肖新磊 董明键 翟建明等(202)
川阆中石龙 19 井钻井技术	郭会昌 赵相泽 何长江(208)
VTK 垂直钻井系统在大湾 1 井的应用	徐 泓(213)
准噶尔盆地中部 1 区块庄 101 井中长筒取心技术应用实践	杨海平(217)
普光 2 井密闭取心技术	李 让 贾振尧 赵胜英(220)
塔河油田超深井 S114 井盐膏层钻井技术	郑卫建 赵炳锡(225)
牙哈 23—1—H1 水平井优快钻井技术	孙卫友 张付军 宁长征(233)
控制压力钻井技术及其应用	严新新 陈 明 杨景利 张 斌 施德友等(239)
鄂尔多斯北区优快钻井配套技术应用实践	伍文玉 姜延峰(245)
岩石声学特性在围压条件下的技术特征	李祖奎 王敏生 耿应春(250)
塔里木盆地山前高陡构造钻井技术	栗广科 王俊芳(254)
普光 4 井钻井技术	徐常生 周喜勇 贾朝阳(258)
水平井压井方法	王瑞娥(263)
T812X(K)超深五段制定向井钻井实践	张东海 殷子横(268)
侧钻及欠平衡钻进技术在塔河油田 TK618CH 井中的应用	陶胜红 马云安(273)

钻井液与完井

金鸡1井恶性井漏堵漏技术	牛新明 苏长明 隋跃华(281)
严重井漏防漏堵漏技术研究应用	苏长明(286)
塔河油田盐上裸眼承压堵漏技术	李作会 孙明光(296)
红参1井 $\phi 314\text{mm}$ 井眼成功下入 $\phi 273\text{mm}$ 套管研究应用	李忠寿 朱礼军等(301)
桑株1井抗高温钻井液体系应用实践	崔新洲(313)
胜科1井 $\phi 339.7\text{mm}$ 套管双级固井技术	张宏军 荆延亮 田善泽(318)
深探井保护油气层钻井完井液技术探讨	叶 荆(324)
川东地区高压气井固井技术	李延伟(329)
塔深1井四开井漏处理与分析	范中平 王 伟(338)
普光气田钻井液技术应用实践	龙大清 李午辰 常 博 马乘风(346)
塔河油田T904井硅酸盐聚磺钻井液设计与施工	王介坤 孙荣华 边培明等(353)
空气钻井过程中的钻井液转换	丁海峰 魏学成(357)
河南油田特浅稠油井完井技术	张鹏伟 邹玉兰 黄继成 肖武锋(365)
高钙盐钻井液体系在塔河地区的研究与应用	张 辉 吴修宾 王善举等(369)
普光气田固井技术研究应用	石凤歧(376)
东盐1井完井固井工艺技术	张宏军 周 敏 田善泽(385)
钾聚石灰钻井液技术在达1井的应用	李晓峰 郭千河 于得水(389)
轮古7井技术套管破裂原因及补救措施	姚良秀(394)
TK112H深层水平井固井技术	张东海(399)
董2井钻井液技术	胡晓津 郭明贤 孟宪波 邵广兴(404)
膨胀管套管补贴工艺及其现场应用	杨海波 冯德杰 滕照正 吴柳根(408)
中原油田油水井水泥挤封技术	陈道元 姚平均 胡念东(414)
聚合醇钻井液的研究与应用	边继祖 王继海 安继承 程双全 杨现岗(425)
胜利油田 $\phi 273.1\text{mm}$ 表层套管优化设计技术	周延军 邵长明(432)
苏北台南油田长裸眼水平井钻井液技术研究与应用	吴明强(437)
可循环微泡沫钻井液的研制及应用	李晓峰(444)
达2井水包油钻井液技术	张和平 史佩谦 王善举(450)
胜利油田富台区块长裸眼井钻井液技术	邱春阳 马法群(454)
文东油田高难度定向井文72-408井钻井液技术	徐忠新 李庆铎 王 伟(459)
多元防塌钻井液技术的研究与应用	马文英 王善举 孙 举 李保国(462)
桥浆先期承压堵漏关键技术	王 东(468)
纤维韧性水泥浆技术在中原油田的研究应用	马军志 朱正国(475)
高强超低密度水泥浆体系的研究	张宏军 杨亚新 林晶 孙玲 张丽哲(484)
快凝双膨水泥浆体系的研究与应用	李泽林 刁军波 刘本栋 李 艳(491)
大位移南堡2-11井钻井液技术	亢青岭 和 昔 章进荡 徐忠新 闵继业(500)
油包水钻井液在桥79井的应用	王继海 孟小敏(505)
S114井穿盐层钻井液技术	范中平 冉林辉(509)
白56井钻井液技术实践	陈小明(515)

装备与工具

柔性管技术在钻井中的应用	魏学成(519)
川东地区个性化钻头开发与应用	李 宁 陆忠华(528)
液动冲击旋转钻井技术及其发展趋势	张海滨 段志峰 崔肖飞(535)
水力脉冲工具的研制与现场试验	王智铎 李作会 杨永印(541)
螺杆钻具落井分析及打捞技术	韩 霖 孙 斌 刘淑英 张练华(545)
水力加压器在川东北高陡构造钻井中的应用	魏学成 肖新磊 周胜军等(549)
PDC钻头在长庆榆林气田的现场试验	王福修 于建宾 赵 勇(554)

管理与发展

现代垂直钻井技术的新进展及发展方向	杨春旭 韩来聚 步玉环 赵金海(558)
计算机模拟技术在钻井工程中的应用现状及展望	高兴坤 孙正义 李红宣(565)
$\phi 139.7\text{mm}$ 套管开窗侧钻技术现状及展望	张东海(571)
天然气水合物及其勘探前景	王敏生 吴绍林(577)

川东北地区钻井新技术应用分析

杨玉坤

(中国石化西部石油工程技术服务管理中心)

摘 要: 总结分析了川东北地区钻井新技术, 井深结构优化设计、钻头优选、复合钻进技术、钻井液体系、固井技术、垂直钻井和空气钻井等应用效果, 提出了川东北地区钻井技术工作建议。

关键词: 钻井 钻机 新技术 应用 川东北地区

作者简介: 杨玉坤, 1981 年毕业于胜利石油学校, 1990 年毕业于石油大学(东营)钻井工程专业, 高级工程师。

一、勘探部署概述

中石化南方具有探矿权区块 112 个, 总面积 29 万 km^2 , 探区天然气总资源量 $134745 \times 10^8 \text{m}^3$, 石油总资源量 $49957 \times 10^4 \text{t}$, 资源潜力巨大。四川盆地面积约 19 万 km^2 , 其中, 中石化登记油气勘查区块面积 5.1 万 km^2 。在周缘还有勘查区块面积 5.1 万 km^2 。合计登记勘查区块 12 个, 面积 10.2 万 km^2 , 资源量 7.6 万亿 m^3 。川东北探区(含宣汉—达县、通南巴、南江和巴中四个区块)、川东南探区(分布在川东和川南, 包括天堂坝、涪陵—綦江等地区)、鄂西—渝东探区、川西南探区。经过几年勘探, 目前已取得重大发现。

(1) 探明普光大气田。2006 年 2 月国家审定累计探明储量为 $2501 \times 10^8 \text{m}^3$, 为国内迄今最大的海相整装气田。

(2) 通南巴复杂构造带整体勘探取得重大突破。川东北第二个大型气藏目标已经显现, 河坝 1 井在两个主要目的层皆获高产: 飞三段: $29.6 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 嘉二段酸压改造: $30 \sim 38 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

(3) 毛坝构造勘探取得重大突破。毛坝 1 井在飞三顶储层测试获日产 $33.02 \times 10^4 \text{m}^3$ 高产天然气流, 毛坝 3 井在长兴组测试获 $22.32 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 高产天然气流。

(4) 南部甩开勘探取得重大成果。2005 年 6 月完钻的双庙 1 井在雷口坡、嘉陵江组、飞仙关组钻遇良好天然气显示, 主要目的层下三叠统飞仙关组测试获日产 $18 \times 10^4 \text{m}^3$ 高产天然气流, 嘉陵江组二段 3570~3573m 井段测试获天然气日产气量 $16 \sim 18 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

为加快天然气勘探开发速度, 集团公司制定了川东北三年储量目标, 具体为: 2006 年累计探明储量 $3200 \times 10^8 \text{m}^3$, 2007 年累计探明储量 $3800 \times 10^8 \text{m}^3$, 2008 年累计探明储量 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。开发目标为: 2007 年建成年产 19 亿生产能力, 2008 年建成年产 60 亿产能。

二、新技术应用分析

(一) 井身结构优化设计

1. 20"—13 $\frac{1}{2}$ "—9 $\frac{1}{2}$ "—7"—5"的结构系列

南方海相探区在勘探初期,为便于施工组织,尽快成井,所钻井的井身结构多采用已经成熟的常用系列。川东北地区的第一批井及压力层系简单、目的层埋藏较浅的评价井均采用了该系列。采用该常规井身结构的设计井主要有:河坝1井、毛坝1井、毛坝2井、毛坝4井、普光1井、普光2井、普光3井、普光4井、普光6井、普光8井、普光9井、双1井、秧1井等。

2. $20''-13\frac{3}{8}''-10\frac{3}{4}''-7\frac{5}{8}''-5\frac{3}{4}''$ 系列

考虑到地层的不确定因素,为深层钻进时留有足够的井眼尺寸,确保主要目的层段的套管应有足够的尺寸,井身结构设计时,有一层套管层次储备,保证深探井地质目的的实现和钻井成功率的提高,以此套管尺寸为基准,逐次向外确定套管柱尺寸,并结合目前国内套管供应现状,在传统井身结构系列 $20''-13\frac{3}{8}''-9\frac{5}{8}''-7''-5''$ 的基础上,优化形成了 $20''-13\frac{3}{8}''-10\frac{3}{4}''-7\frac{5}{8}''-5\frac{3}{4}''$ 系列,并逐步开始应用于实践。

自红参1井开始,在南方海相探区于深层气井设计中逐步推广应用了以 $10\frac{3}{4}''$ 套管为主要技术套管的井身结构系列,并在实践中进一步对套管系列优化,形成了相对完善的非常规井身结构。

采用该非常规井身结构系列主要基于压力层系复杂,井深,必封点较多,仅依靠钻井液等辅助措施无法实现安全钻井。目前,多数探井均采用此结构设计:大湾1井、丁山1井、河坝2井、黑池1井、金鸡1井、老君1井、老君2井、马1井、马2井、毛坝6井、普光5井、普光10井、普光101井、清溪1井等。

采用此系列井身结构若钻遇异常情况时,可提前下入最后一层 $5\frac{3}{4}''$ 无接箍套管,然后使用 $\phi 118\text{mm}$ 小钻头完成勘探任务。

3. $13\frac{3}{8}''-10\frac{3}{4}''-7\frac{5}{8}''(7'')$ 系列

此系列主要适用于设计井深相对较浅,地层压力相对清楚的区块,采用 $10\frac{3}{4}''$ 技术套管为下部钻井使用较大尺寸的钻头提供条件,若 $9\frac{1}{2}''$ 钻头可钻完井深,则直接下入 $7''$ 套管完井,遇复杂情况可增加一层 $7\frac{5}{8}''$ 技术套管,转换为第二系列。采用此系列设计井为:大湾2井、老君3井、普光11井。

4. $13\frac{3}{8}''-9\frac{5}{8}''-7\frac{5}{8}''$ 无接箍- $5\frac{3}{4}''$ 无接箍-裸眼

此系列主要用于实钻过程中,因地质情况发生变化时而进行的井身结构调整。由于 $9\frac{5}{8}''$ 已经成功下入, $8\frac{1}{2}''$ 钻头钻进中遇异常压力,可扩孔至 $9\frac{1}{2}''$, 然后下入 $7\frac{5}{8}''$ 无接箍套管,将原结构调整多一层次,实现对复杂层的提前封隔。使用此系列井身结构的完钻井有双庙1井、河坝1井及普光7井。

今后计划将在需要的地区试用 $\phi 558.8\text{mm}(22'')$ 钻头开眼,下入 $\phi 457.2\text{mm}(18'')$ 表层套管序列,替代 $\phi 660.4\text{mm}(26'')$ 钻头开眼下入 $\phi 508\text{mm}(20'')$ 表层套管序列。推广应用 $\phi 406.4(16'')$ 钻头替代 $\phi 444.5\text{mm}(17\frac{1}{2}'')$ 钻头,以提高大井眼段的机械钻速。

(二)钻头优选技术

侏罗系地层采用大牙齿(宽齿)钻头比较适合,如江汉产的 HJT517GK 系列钻头,成都产的 SH22RG 系列钻头,岩性均质的泥岩、细砂岩可选用百斯特的 PDC 钻头。须家河地层主要选用江汉产的 HJT537G 或 HJT617G 系列钻头。雷口坡、嘉陵江、飞仙关及以下海相地层可选用百斯特的 PDC 钻头和江汉产的 HJT517 系列钻头。通过钻头优选,机械钻速有明显提高:

(1)在河坝 1 井使用后,平均钻速 0.9576m/h,与使用前的平均钻速 0.561m/h 对比,提高 64.5%。

(2)普光 1 井平均钻速 1.33m/h,较使用前的机械钻速提高 29.13%。

(3)毛坝 2 井平均钻速 1.27m/h,比毛坝 1 井提高 44%。

(4)普光 2 井平均钻速 2.34m/h,比普光 1 井提高 76%。

(5)普光 1 井、河坝 1 井在海相地层使用江汉钻头厂生产的宽齿钻头,钻速分别提高 51.8%和 41.9%。

(6)毛坝 1 井在嘉陵江组使用胜利钻井院生产的 P178MH-215.9PDC 钻头,进尺 363.77m,平均机械钻速达 1.26m/h,比同井段平均机械钻速提高了 28.89%。毛坝 2 井在 3179~3725m,使用 M1388SPDC 钻头,进尺 546m,钻速 3.19m/h,继续在 3725~4030m 使用 M1375S,进尺 304.77m,钻速 5.54m/h。

(三)复合钻进技术

该技术已在普光 1、2、5、7 井、双庙 1 井、毛坝 2、3 井等多口井应用,机械钻速提高 140%~660%,部分井复合钻进情况见表 1。

表 1 复合钻进统计分析

序号	井号	钻头直径/mm	井段/m	机械钻速/(m/h)	提高/%
1	普光 2	215.9	4229.00~4700.00	10.22	657(相对 PDC 钻头) 371(相对牙轮钻头)
2	双庙 1	215.9	2895.00~3573.00	3.24	433
3	毛坝 3	215.9	2726.00~3823.00(间断)	1.89~5.58	100~250
4	普光 5	241.3	3655.00~5126.00	2.79	132
5	普光 7	215.9	3690.00~4818.00	3.25	120
6	大湾 2	241.3	1960.88~2477.54	4.57	300

建深 1 井在二开 $\phi 406.4\text{mm}(16")$ 钻头井段试用高效 PDC 钻头+螺杆复合钻进,日进尺曾高达 100m、机械钻速达 4.5m/h(后因钻头掉齿而效果欠佳);普光 9 井三开 $\phi 215.9\text{mm}(8\frac{1}{2}')$ 钻头目前钻进嘉陵江组地层,日进尺亦过百米,机械钻速达 6m/h。充分证明该项技术具有很好的应用前景。

目前,复合钻进方式主要应用于海相碳酸盐岩地层(雷口坡—嘉陵江),其岩性相对均质,可钻性较陆相地层高,有利于 PDC 钻头发挥优势,也可相对保障螺杆钻具的使用寿命,二者匹配较好,最大限度地提高了机械钻速,但其不利于堵漏等措施的使用,只适用于非产层井段。

(四)钻井液体系统优选

1. 屏蔽暂堵技术

在钻井过程中,通常选用水基钻井液完井液,采用正压差屏蔽暂堵技术,阻止钻井液侵入,保护储层,同时钻井液应具有高抑制性、低表面张力、低压差的特点。在对海相地层储层特征、储层损害机理室内研究的基础上,针对海相地层储层的特征,设计提出了屏蔽暂堵技术及配套的解堵工艺。该技术在毛坝 1 井、双庙 1 井、普光 4 井压井过程中应用效果显著。

2. 金属离子聚合物体系

具有正电胶和两性离子聚合物两者的特性,金属离子聚合物钻井液表现出类似混合金属氢氧化物钻井液的特殊流变性和类似两性离子聚合物钻井液的强抑制性与低滤失量,能“中和”表面电荷,减少储层碱敏性,防止储层微粒运移,减少亚微米级颗粒进入储层。该体系于毛坝构造陆相地层推广应用,有效解决了陆相地层封堵、地层不稳定等问题。

3. 聚硅醇钻井液体系

该体系对于裂缝和孔隙漏失地层具有特别有效的强化“封固”兼有“封堵”作用。该体系的最大特点是具备稳定井壁与保护油气层作用,具有防漏、防塌、抗高温、流变性能稳定、防硫和抗盐膏污染、保护储层等特点。利用硅酸盐钻井液钻进储层时在储层井壁上形成的封固层,可用破碎剂来破坏或射孔穿破,恢复储层的渗透率。

毛坝2井二开采用了金属离子聚合物防塌钻井液,三开采用了聚硅醇钻井液,在钻井液密度高达 $1.98\text{g}/\text{cm}^3$ 的情况下,顺利完井,其中,三开裸眼斜井段长2651m,最大井斜 23° 。全井起下钻畅通无阻,钻井液体系的匹配为全井井下安全施工提供了有力保证。

4. 非渗透钻井液体系

该体系在钻井过程能形成无渗透的钻井液,增加地层的破裂压力,平衡钻井液和固井液的密度变化、防止漏失的最小或无损害,同时提高地层承压能力。其特点对南方海相地层有很好的针对性,2005年起逐步在设计中推广,但由于体系及材料的技术要求相对较高,施工单位尚未能充分认识及掌握,仅在少数井进行了试验。

(五)固井工艺技术

川东北地区固井具有井深、灰量大、同一裸眼中多产层多压力系统共存、地层压力高、地温高、井下漏层多等特点,固井施工难度较大,固井质量不稳定。

常采用的固井方法有常规固井、尾管悬挂(套管回接)固井、双级固井、内插管法固井、双凝水泥固井。为解决技术套管封固井段长,分级箍质量差的问题,自第二批井开始,推广应用双凝水泥浆体系进行技术套管固井。目的是解决由于胶凝强度造成“失重”,使整个环空液柱压力下降,低于气层压力造成气窜问题。具体工艺要求:第一段水泥浆已终凝后1h第二段水泥浆才开始初凝,第一段水泥浆具有较低的失水、自由水和较高的水泥浆密度。普光3井、毛坝2井、双庙1井、丁山1井技术套管固井均采用了双凝体系,固井质量良好。

生产套管固井的气窜问题是影响固井质量的主要问题,由于深井固井过程中条件变化较大,尤其是高温、高压致使水泥浆的流动性差,顶替泵压较高,安全作业时间变短,增加了施工的难度,必须使用水泥外加剂调节。在水泥浆体系上优选防气窜剂、降失水剂、高温缓凝剂、热稳定剂等外加剂,保证了施工安全和固井质量,并有利于保护气层。优选设计推广应用了胶乳体系。该体系具有良好的控制失水能力,稠化特性好,初始稠度稳定,过度快,基本实现直角稠化,浆体稳定度高,不离析不沉降,水泥石强度高,早期强度上升迅速,能快速增加水泥基体的气侵能力。较好地解决了固井气窜问题。但固井质量总体不高,表层套管固井合格率达到92.86%。技术套管固井一次合格率达到80%,生产套管固井一次合格率只有72%。

目前,川东北探区固井难点主要体现在深井小间隙固井:如 $8\frac{1}{2}$ "井眼下 $7\frac{1}{8}$ "无接箍套管; $6\frac{1}{2}$ "井眼下 $5\frac{3}{8}$ "无接箍套管, $12\frac{3}{4}$ "井眼下 $10\frac{3}{4}$ "套管。由于环空间隙小,下套管困难,施工过程泵压高,排量小,顶替效率差,易出现复杂情况,水泥环薄,水泥浆胶结质量难以保证

等;而且,由于循环摩阻大,高密度钻井液、水泥浆流变性不好,极易压漏地层。固井质量难以保证。小间隙固井技术有待于进一步研究、探索、总结和提高。现已有德州所立项攻关。随着新水泥添加剂的加入,旋转尾管固井技术的应用,再配合气层段套管居中技术及尽量保证套管与井壁合理间隙及流型技术,目的层固井质量会得到进一步的提高。

(六)垂直钻井技术

为了提高海相地层钻井效率,解决地层可钻性差、高陡构造易斜导致机械钻速低的问题,南方公司相继引进了斯伦贝谢的 PowerV 和贝克休斯的 VertiTrak 进行了垂直钻井试验,已在普光 7、黑池 1、大湾 1、龙深 1 井四口井中应用,取得了显著成效(应用效果见表 2)。金溪 1 井目前正在应用垂直导向系统进行钻进,其中在沙溪庙地层采用 G506PDC 钻头累计进尺 555.58m,平均机械钻速 3.95m/h,可以认为 PDC 配合垂钻在陆相有很大的应用潜力。

表 2 垂直钻井技术应用效果统计

序号	井号	使用时间	钻头直径/mm	井段/段长/m	机械钻速/(m/h)	与常规钻井相比提高	井斜/(°)	说 明
1	普光 7	05.1.30~05.3.7	311.1	1710.97~2475.30/764.33	1.75		3.8↓0.7,1.4	PowerV
2	黑池 1	04.11.29~05.1.19	314.3	477.74~2154.75/1677.01	1.83	205%	≤ 1.6	PowerV
3	大湾 1	06.1.16~06.2.16	314.3	1828.96~2444.00/615.04	1.94	304%	4.3↓0.12~0.55	VertiTrak
4	龙深 1		444.5	1490~1686.39/196.59	3.40	149%	2.5↓0.2	VertiTrak
5	毛坝 6		316.5	627.04~1953.27/1305.65	2.25		0.23	VertiTrak

(七)空气钻井技术

气体钻井是指钻进过程中循环介质为气体,它包括空气钻井、天然气钻井、惰性气体钻井。气体钻井在国外应用已相当广泛,主要用于加快钻速、发现和保护气层,在低压缝洞地层用气体钻井解决长段井漏的钻井问题。空气(雾化)钻井的主要优点有:提高机械钻速;延长钻头使用寿命;降低钻井成本;减少地层损害;钻井作业清洁卫生,有利于环保等。

虽然空气钻井具有许多优点,但只有在一定范围内使用才能产生较大的效益。许多资料表明,空气钻井主要适用于:不出水的坚硬地层;严重漏失地层;严重缺水地区;地层压力低且分布规律清楚的地层;井壁稳定且不含 H₂S 地层。通过详细调研与论证,南方公司和中原普光项目部在部分区块的上部陆相地层开展了空气钻井技术的试验。已在老君 1 井、普光 D-1、大湾 2、河坝 2 等 13 口井应用,应用情况见表 3。老君 1 井和 PD-1 井分别用了 22d、20d 完成了邻区邻井用泥浆常规钻井需要 120~160d 才能完成的进尺,按此计算,应用空气钻井新技术可缩短钻井工期 100~140d,考虑到推广应用中的各种因素,若二开井段能够全面使用,缩短工期效果可达 3 个月左右。

使用空气锤+空气锤钻头方式钻进,不仅可以获得快高的机械钻速,还由于钻压低井斜易控制,钻出井眼较为规则。例如 P2-2 井,表层 31.54~601m,钻头尺寸 φ444.5mm,钻至 35m 时,由于地层出水,由于空气转换为雾化钻井,钻至 601m,平均机械钻速 8.35m/h。在

二开井段 601~2907m 应用空气钻井技术,钻头尺寸 $\phi 311.15\text{mm}$ 。空气钻头+空气锤施工,用空气钻头 4 只,进尺 1581m,平均机械钻速 17.63m/h。牙轮钻头 4 只,进尺 455m,纯钻进时间 77.3h,平均机械钻速 5.88m/h,最大井斜 $0.82^{\circ}/1965\text{m}$ 。P4—2 井一开井段 32~602m,进尺 570m,平均机械钻速 7.71m/h。

表 3 空气钻井应用统计分析

序号	甲方	井 号	使用时间	钻头直径/mm	井段/段长/m	平均机械钻速/(m/h)	纯钻时间/h	设备技术提供单位	备 注
1	南方勘探开发分公司	君 1	05.12.30~06.1.21	314.3	762.00~3253.70/2491.70	11.37	219.15	四川广汉	井下燃爆、复杂等,转换为泥浆。
2		大湾 2	06.2.1~06.2.8	316.5	584.00~1245.70/661.7	7.38	89.66	四川广汉	由于地层出水,提前转换泥浆。
3		河坝 2	06.02.25~03.05	316.5	615~1259.80 合计 644.8	9.15	70.46	新疆克拉玛依	由于地层出水转为泡沫使用泡沫井垮转为泥浆
4		清溪 1	06.02.28~03.21	316.5	601.43~2486.42/1884.99	6.18	305.01	四川广汉	由于地层出气,气测全烃值上升,转换为泥浆
5		马 1	06.03.09~03.13	316.5	742~1349.60/607.60	8.65	70.24	四川广汉	空气钻第一只钻头起钻至 677m(表套内)卡钻,处理至 21 日注入泥浆
6		龙 8	06.4.8~4.25	314.3	460~1340.7/880.7	4.53	194.42	新疆克拉玛依	地层出水转换泥浆
7		老君 3	06.4.13~4.25	316.5	411.28~1745/1333.72	6.86	194.42	四川广汉	钻具断,三个牙轮落井。转换泥浆最大井斜 5.3/1574 ∇
8		普光 10	06.4.24~5.12	314.3	880~3003.47/2123.47	7.89		长庆设备	已完成
9	中原普光项目部	PD-1	06.1.17~06.2.6	314.3	564.00~3002.00/2438	8.54	285.48	四川广汉	到设计层位,转换为泥浆。
10		P2-2	06.3.22~3.27 4.8~4.27	444.5 311.2	31.54~601/569.466 01~2907/2306	8.35 12.75	68.20 180.86	威德福	Weatherford Hammer H35m 时地层出水转为雾化钻井完成一开进尺已入 T3x,按设计转换为泥浆,井斜<1°
11		PA-2	06.3.24~4.30	314.3	649.60~3036/2386.4	4.48	532.68	四川广汉	钻达设计层位转换泥浆
12		P6-3	06.5.3~5.26	314.3	704.51~3350/2645.49	6.41	412.75	四川广汉	钻遇须家河气层转换泥浆
川东北完成井情况综合					20974.03	7.01	2992.48		
13	西南分公司	大邑 1	06.02.11~02.28	311.15	692~2800/2108	9.00	234.22	四川广汉	

(八)导向钻井技术和自然造斜规律的应用

导向钻井技术在易斜井段使用,国内外的现场实践均证明可以提高钻井速度。中原钻井先后在普光 7 井和红参 1 井、江汉钻井在双庙 1 井采用 MWD+弯外壳动力钻具的方式钻进,井身质量正常时采用复合方式放开钻压钻进,井斜超标时采用滑动方式进行纠斜钻进。平均机械钻速提高了 50%,井斜也得到了有效控制。但也存在井眼狗腿多、钻井成本上升的问题。

在对地质构造特征(特别是地层倾角及倾向)、地层自然造斜方向及地层自然造斜能力有了充分了解和掌握的情况下,应尽可能地利用地层倾角产生的自然造斜规律,根据目的层位置,设计定向井或适当放宽对钻井目的层位移的限制,反推出理想的井口位置。有效地把不利的地质因素变为有利因素,从而解放钻井参数,提高钻井速度。南方公司在飞坝 2 井及

黑池1井进行了试验,两口定向井在定向钻进时由于设计轨道方位沿着地层自然造斜方向,不仅提高了机械钻速,井身轨迹也容易控制,井身质量良好。

三、对下步钻井工作的建议

(1)始终坚持“安全第一”的管理理念,杜绝重大恶性事故发生。钻井行业是一个高危行业,稍有不慎就有可能发生重大事故,甚至是机毁人亡,几年来,钻井行业领导重视,上上下下狠抓了安全生产,取得了很好的效果。安全设备配置不断完善,职工安全意识和安全技能明显提高。但在安全上我们始终不能有任何懈怠,必须坚持“安全才能生产,生产必须安全”的原则,建立健全安全环保监督机构,强化了安全环保管理,牢牢抓住安全不放松,杜绝井喷、硫化氢失控、重大泄漏等恶性事故发生。

(2)加强工区技术培训和和技术交流,进行技术力量整合和技术协作,提高队伍整体素质,减少复杂和事故的发生,提高钻井效率。钻井队伍整体素质的提高是钻井行业长期发展的关键,无论何种情况,都应搞好技术培训和和技术交流工作。建议通过积极参加总部统一组织的培训、技术交流和自己组织小型技术研讨会等措施,加强进行工区内的技术培训和和技术交流,以尽快提高整个参战队伍的整体素质。

(3)加大科技攻关和新技术推广力度,提高钻井技术含量。国内外钻井新技术的应用不仅使过去难以打成的井可以实现勘探目的,还大大提高了钻井效率。应依靠强大的科研和技术力量,不断试验和推广钻井新技术,建议对高效钻头优选与应用技术、转盘+动力钻具复合钻进技术、大斜度多目标井、丛式井、水平井钻井技术及套管减磨技术进行推广。对优化井身结构技术、自动垂直钻井技术、气体钻井配套技术、扩孔及膨胀管配套技术、分支井配套技术、恶性漏失井段快速堵漏技术及复杂地质工程条件下深井超深井固井技术进行技术攻关。

(4)近几年川东北钻井工作量相对比较饱满,近期总部也将统一制定钻井定额,建议继续增加队伍,充实技术、管理力量,以便形成整体优势和规模效益。

油气上窜速度实用计算方法探讨

张桂林

(胜利石油管理局石油工程技术管理处)

摘 要:介绍了用相对时间计算钻井及井下作业施工中油气上窜速度的方法。该方法通过一次下钻测量记录两个时间,能计算油气上窜速度,解决了一般开发井不测量迟到时间和传统方法计算中数据取值一致性差、精度低的问题。对等直径井眼与复合直径井眼分别进行了理论分析并推导出了相应的计算公式。包括前言、基本原理与计算方法、注意事项及结论认识等。

对传统的迟到时间法、容积法进行了简要分析并提出了主要不足。

关键词:钻井 井下作业 油气上窜速度 计算方法

作者简介:张桂林 1981 年 7 月毕业于胜利石油学校钻井专业,石油大学本科学历,高级工程师。

一、对传统计算方法的分析及问题提出

在钻井和井下作业施工中,油气上窜速度是衡量井下安全的重要技术数据,是确定下一步施工方案措施的重要技术依据。油气上窜速度过高,将导致井涌井喷问题发生,造成对地下油气资源的破坏、对地面环境的破坏和对钻井施工安全的严重威胁。特别是随着油气勘探开发区域的逐年扩大和地下状况的不断复杂化,对钻井和井下作业技术与安全提出了更高的要求,对油气上窜速度的测量计算也要求更准确、更方便。

对于油气上窜速度的计算,传统的方法包括“迟到时间法”和“容积法”两种方法。毋庸置疑,这两种计算方法在理论上是正确的。但是,这两种方法涉及到的关键参数——迟到时间、泥浆泵排量的准确性问题,对计算的准确性带来了很大影响。

迟到时间法是钻井现场一直采用的方法。这种方法的主要不足,一是迟到时间的测量比较繁琐;二是迟到时间的测量计算中受到“钻井液运载比”影响和钻具内部下行时间影响,很难保证计算的精确性;三是迟到时间的测量计算与油气上窜速度测量计算是在不同的下入钻具次数和状态下,数据一致性差;四是没有将油气侵段的显示时间引入上窜速度计算中,缺乏全面性;五是用钻屑的迟到时间计算油气上窜速度不合理;六是没有考虑复合井眼情况;等等。同时,开发井钻井和井下作业现场一般不测量迟到时间的实际情况,也是影响该方法进行计算的现实情况。

对于容积法,现场应用较少。主要是泥浆泵排量的具体值精确性差,井眼容积也不容易准确确定,因此计算精度低。

因此,考虑一种新的测量计算方法是十分必要的。作者在长期分析的基础上,提出了一种计算油气上窜速度实用方法——相对时间法。

二、基本原理与计算方法

相对时间法,是利用钻井液循环中各种时间所占相对比例进行计算的。不同性质的钻

实际的井眼,可为单一直径井眼、复合直径井眼(包括二级复合直径井眼、三级复合直径井眼、多级复合井眼等)。在测量计算中,每一种井眼都有三种情形,即钻头(管柱底部)深度浅于油层顶部深度、与油层顶部深度相同和大于油气层顶部深度。下面以较为繁琐的三级复合直径井眼、钻头(管柱底部)深度大于油气层顶部深度的情形为例进行推导。

假定:(1)开泵后油气不再侵入井眼。

应考虑到下入钻具(管柱)时油气侵钻井液返入了钻具(管柱)内部,随开泵循环又进入并与环空油气侵钻井液一同上返(见图1)。

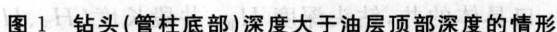


图 1a 表示钻具下到油气层以前井眼中实际情况,图 1b 表示下入钻具(管柱)开泵前的状况,图 1c 表示开泵后钻具(管柱)内油气侵钻井液刚好全部进入环形空间的时刻。油气上窜速度由下式计算。

$$v = \frac{H_1}{t_{\text{静}}} \quad (1)$$

式中: v 为油气上窜速度, m/h ; H_1 为油气侵钻井液实际高度, m ; $t_{\text{静}}$ 为从停泵起钻至本次开泵的总静止时间, h 。

根据图 1, 存在如下关系式:

$$\begin{aligned} \frac{t_1 - \Delta t}{t_2 + t_3 + t_4} &= \frac{(H_1 + h_1 + \Delta h_2) q_1 / Q}{H_2 q_1 / Q + H_3 q_3 / Q + H_4 / Q} \\ &= \frac{(H_1 + h_1 + \Delta h_2) q_1}{H_2 q_1 + H_3 q_3 + H_4 / q_4} \\ \frac{\Delta t}{t_1 - \Delta t} &= \frac{(H + h_1 + \Delta h_2) q_{\text{内}} / Q}{(H + h_1 + \Delta h_2) q_1 / Q} = \frac{q_{\text{内}}}{q_1} \\ t_2 + t_3 + t_4 &= t'' \\ H_{\text{底}} &= \Delta h_2 + H_1 + h_1 + H_2 + H_3 + H_4 \\ (H_1 + \Delta h_2) q &= \\ (H_1 + h_1 + \Delta h_2) q_1 + (H_1 + h_1 + \Delta h_2) q_{\text{内}} \end{aligned}$$

由此得出:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{t_1 q_{\text{内}}}{q_1 + q_{\text{内}}} \\ h_1 &= \frac{q - q_1 - q_{\text{内}}}{q_1 + q_{\text{内}}} H_1 + \frac{q - q_1 - q_{\text{内}}}{q_1 + q_{\text{内}}} \Delta h_2 \\ H_2 &= \frac{q t_2}{q_1 t_1} H_1 + \frac{q t_2}{q_1 t_1} \Delta h_2 - \frac{q_3}{q_1} H_3 - \frac{q_4}{q_1} H_4 \end{aligned}$$

解得:

$$H_1 = \frac{H_{\text{底}} + \left(\frac{q_3}{q_1} - 1 \right) H_3 + \left(\frac{q_4}{q_1} - 1 \right) H_4}{q \left(\frac{t''}{q_1 t_1} + \frac{1}{q_1 + q_{\text{内}}} \right)} - \Delta h_2 \quad (2)$$

$$\therefore v = \frac{H_{\text{底}} + \left(\frac{q_3}{q_1} - 1 \right) H_3 + \left(\frac{q_4}{q_1} - 1 \right) H_4}{q \left(\frac{t''}{q_1 t_1} + \frac{1}{q_1 + q_{\text{内}}} \right) t_{\text{静}}} - \frac{\Delta h_2}{t_{\text{静}}} \quad (3)$$

这就是该种情形下的油气上窜速度计算公式。

式中: t_1 为循环时井口油气显示的时间 ($H_1 + h_1 + h_2$ 段), h ; Δt 为将钻具(管柱)内受侵钻井液全部替入环空的时间, h ; H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 为各井段长度, m ; t_2 、 t_3 、 t_4 为 H_2 、 H_3 、 H_4 段钻井液返出井口时间, h ; q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 为 H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 井段的环空容积, L/m ; t'' 为从开泵循环到见到油气显示时间, h 。 q 为油气侵井段井眼容积, L/m ; $q_{\text{内}}$ 为钻具(管柱)内容积, L/m ; h_1 为下入钻具(管柱)后油气侵段上升高度, m ; h_2 为钻具(管柱)内受侵钻井液在环空的高度, m ; Δh_2 为钻具(管柱)下入油气层中的长度, m ; $H_{\text{底}}$ 为钻具(管柱)底部深度(应小于或等于油气层底部深度), m 。 Q 为循环排量, L/s (不用于计算)。

从式中可知, 对于一口具体的井, 钻头深度 $H_{\text{底}}$ 、井段长度 (H_3 、 H_4)、钻具(管柱)下入油