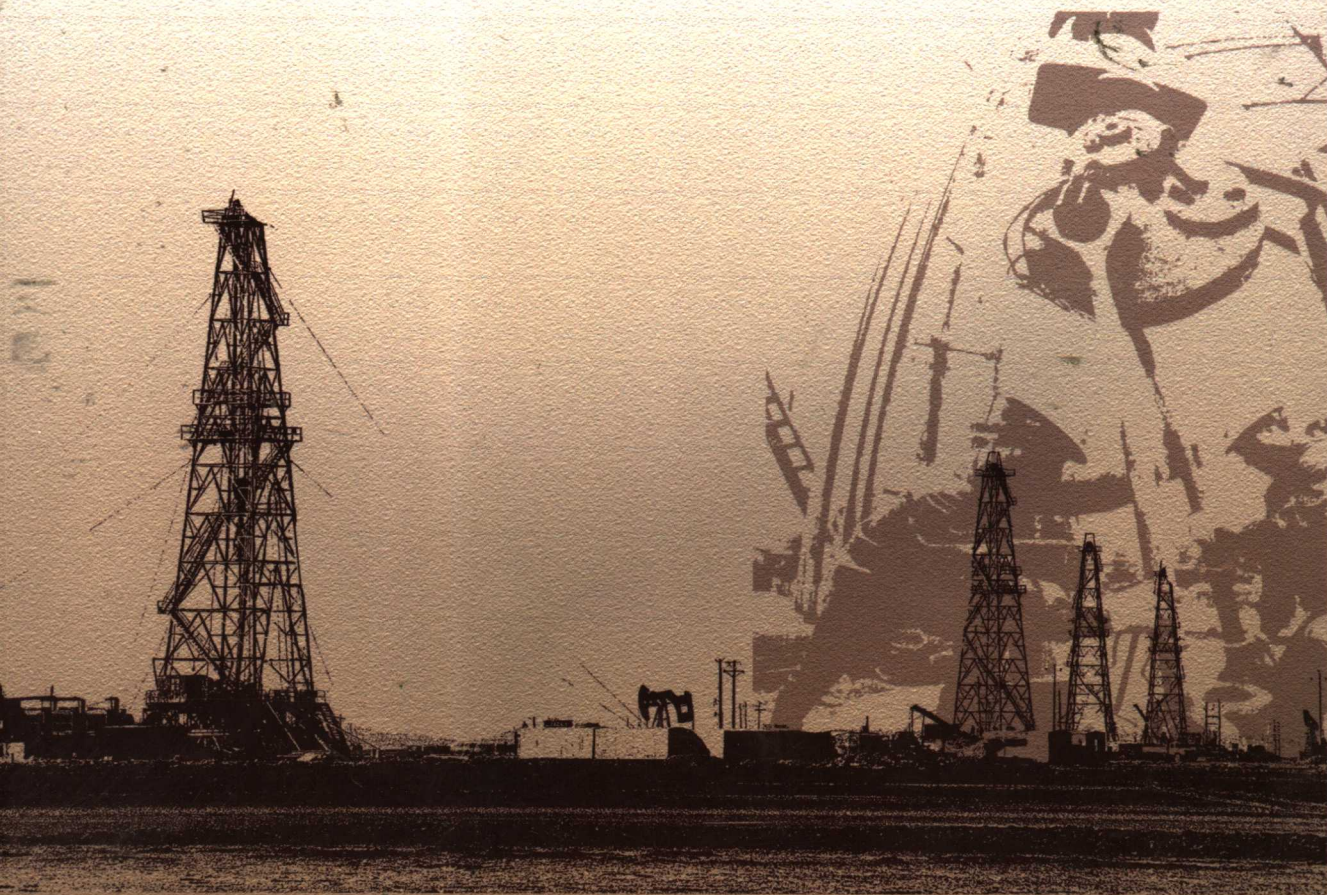


《第六届石油钻井院所长会议论文集》编委会 编



第六届石油钻井院所长会议 论文集



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

第六届石油钻井院所长会议 论文集

《第六届石油钻井院所长会议论文集》编委会 编

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第六届石油钻井院所会议论文集/《第六届石油钻井院所会议论文集》编委会编.

—北京:石油工业出版社,2007.7

ISBN 978-7-5021-5991-7

I. 第…

II. 第…

III. 油气钻井—学术会议—文集

IV. TE2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 034066 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.com.cn

编辑部:(010) 64523583 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:31.5

字数:806 千字 印数:1—1000 册

定价:98.00 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

《第六届石油钻井院所长会议论文集》

编 委 会

主 任：孙 宁

副主任：潘仁杰 许树谦

委 员：（按姓氏笔画排序）

刘汝山 刘硕琼 苏义脑 张宁生 陈 光

陈若铭 佟德安 罗平亚 宗 铁 郑新权

胡世杰 姜 伟 柳贡慧 徐鸣雨 高德利

主 编：许树谦

编 辑：胡世杰 方代煊 柳 建 张 蕾

序 言

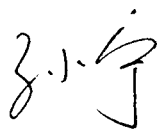
金秋时节，我们在美丽的新疆乌鲁木齐市召开中国石油工程学会钻井工作部 2006 年年会暨第六届全国石油钻井院所长会议。会议共收到论文 67 篇，这些论文都具有很高的学习和借鉴价值。由于会议时间有限，所有的论文不能一一在大会上发言交流，为弥补这个缺憾，把收到的论文编辑成《第六届石油钻井院所长会议论文集》，便于大家学习和交流。

每年一次的石油工程学钻井工作部年会暨钻井院所长会议是一件极为有意义的事情，对于加强和密切中国石油、中国石化、中国海油三大集团公司以及石油高等院校的交流与合作，增进了解，浓厚学术氛围，提高技术理论水平，推动钻井技术进步，都有着积极的作用。广大钻井科技工作者积极参与并投入了很高的热情和很多的精力，认真撰写论文，积极发表见解，阐明观点，许多论文都从不同角度或侧面介绍和论述了国内钻井新工艺、新技术的发展与展望，有些论文不仅理论水平高，而且具有较强的实用价值，紧密结合钻井生产一线的研究应用成果，言之有据，分析有理，推论科学，对解决钻井生产难题、促进钻井技术进步有着重要的现实意义。

希望广大钻井科技工作者继续保持密切交流与合作的优良传统，以开拓创新，科学求实的姿态，在“十一五”发展规划实施的机遇期间，加快推动石油钻井技术不断向前发展。

最后，对所有提交这次会议论文的专家学者表示感谢！

中国石油工程学会钻井工作部主任



目 录

钻 井 工 程

新疆油田超浅层稠油水平井钻完井技术·····	(3)
煤层气多分支井身结构设计模型研究·····	(12)
鱼刺型分支水平井在稠油油藏中的应用·····	(21)
煤层气多分支水平井技术及现场应用·····	(28)
大庆油田首钻双分支水平井钻井实践·····	(36)
南 246 -平 309 井裸眼侧钻技术探讨 ·····	(44)
浅层大位移水平井钻井技术·····	(51)
利用水平井技术开发辽河油田洼 70 块超稠油薄层油藏 ·····	(56)
松散地层取心技术·····	(61)
三维绕障水平井轨迹控制技术在红南平 6 井中的应用·····	(67)
复杂深井钻柱安全性研究·····	(73)
气体钻井轨道易斜原因及对策·····	(79)
大尺寸井眼气基流体钻井技术的应用·····	(82)
关于地震和测井声波速度关系的研究·····	(90)
钻井计算机模拟技术在钻井工程中的应用及展望·····	(95)
岩石可钻性的分形评价法·····	(102)
盐穴储气库老腔利用改造技术·····	(108)
大庆油田钻井技术现状与发展方向·····	(114)
基于室内破岩机理试验研究的 PDC 钻头选择与使用方法探讨 ·····	(121)
空气钻井技术在普光气田的应用·····	(133)
BHA 在井眼中的状态对 MWD 测量结果影响规律的探讨 ·····	(140)
钻井工程领域随钻地震技术 (RVSP) 应用研究 ·····	(149)
庆深气田钻头类型与钻井参数优选研究·····	(156)
庆深气田深层勘探钻井配套技术研究与应用·····	(163)
盐穴井筒及腔体密封检测技术的研究及应用·····	(169)
塔河油田三叠系石炭系井壁稳定技术·····	(175)
吐哈低压低渗储层氮气钻井技术·····	(181)
杨楼新庄油田疏松砂岩岩心制作方法研究·····	(190)
旋转导向钻井技术研究进展·····	(195)
反循环钻井与洗井技术·····	(202)

钻井液、完井液

长北气田分支水平井 CB1—1 井钻（完）井液技术	(215)
磺化改性三元共聚物水泥降失水剂的研究	(222)
MEG 钻井液在吐哈油田的研究与应用	(228)
饱和盐水盐层水平井钻井液技术	(235)
S115 井盐膏层钻井液技术	(244)
理想充填暂堵技术在大港油田舍女寺应用的室内研究	(252)
克拉玛依油田水平井钻井液完井液技术进展	(257)
多元防塌钻井液技术的研究与应用	(267)
水基成膜钻井液技术作用机理及应用	(273)
高温（220℃）高密度（2.3g/cm ³ ）水基钻井液技术研究	(280)
超低渗透钻井液作用机理研究与应用	(286)

固井完井技术

出砂管理模式及防砂管缝宽选择	(297)
大庆油田套管先期保护研究	(303)
煤层气井固井技术研究与应用	(309)
鄂北气田近平衡压力固井技术研究	(315)
老井侧钻注水完井工艺	(321)
水平井割缝筛管完井技术应用	(327)
低密度堵漏水泥浆技术	(333)
利用晶核改善油井水泥水化性能的方法与实验	(337)
二氧化碳对油井水泥腐蚀研究	(345)
金坛盐穴储气库已有采卤井无井底固井技术	(350)
稠油热采井固井完井技术	(357)
新疆油田超低密度 MTC 及其应用	(364)
超低密度水泥浆研究及其在固井中的应用	(371)
新型油井水泥早强增塑剂 PF 的室内研究	(378)

钻 井 机 械

无线随钻测量技术的应用现状与发展趋势	(385)
多股磨料射流组合破岩钻孔研究	(392)
高压喷射沟槽钻井技术发展探讨	(398)
水力深穿透技术在井筒作业中的应用	(406)
实体膨胀管技术在套管补贴中的应用	(414)
钻井堵漏材料送入工具的研究与应用	(420)

膨胀管技术在套损井修复中的应用..... (423)

膨胀管定位分支井钻井完井技术与应用..... (428)

顶驱性能试验台的设计..... (434)

波纹管堵漏技术研究..... (439)

全过程欠平衡钻井井下控制阀研制与应用..... (444)

国内外三种典型 500t 顶部驱动钻井装置结构与功能分析 (449)

可控偏心器旋转导向钻具组合的性能分析..... (455)

水力促动式底部循环地锚的研制与应用..... (462)

西藏羌塘盆地开发前景及应用连续油管技术的探讨..... (466)

胜利油田地质导向钻井技术研究进展..... (470)

井底增压喷射钻井系统的研制与应用..... (479)

深水钻井水下井口系统配置与选型研究..... (483)

套变井封隔作业技术..... (492)

钻 井 工 程

新疆油田超浅层稠油水平井钻完井技术

王 新* 宋朝晖 林 晶

(新疆石油管理局钻井工艺研究院)

【摘 要】 新疆油田拥有丰富的浅层稠油资源,采用常规直井钻机钻浅层稠油水平井开发由于地面距离目的层垂直井段短,使得钻井完井工艺面临一些特定的技术难题,如浅层疏松地层大尺寸钻具的造斜率难以保证,浅层大尺寸套管柱下入困难等。本文结合 2005 年新疆克拉玛依油田九₈区应用直井钻机钻成最深垂深仅 146.3m,国内垂深最浅的超浅层稠油水平井 HW9802 井为例,从井身结构设计、井眼剖面优选、浅层高造斜率的实现方法、实钻井眼轨迹控制、大尺寸套管柱的安全下入等方面对该项技术进行介绍,该项技术的成熟配套应用目前已经成为新疆克拉玛依油田浅层稠油油藏开发的重要手段。

【关键词】 直井钻机 浅层稠油 水平井 井眼轨迹

新疆油田拥有丰富的浅层稠油资源,稠油油藏埋深浅,最浅埋深在 120m 左右,限于油藏条件和储层认识以及工艺能力,目前仍以直井热采为主要开发方式,而采用水平井方式进行开采,能更有效地增大油层裸露面积,扩大蒸汽热驱范围,提高采收率。但是浅层稠油水平井钻井完井由于地面距离目的层垂直井段短,应用常规直井钻机钻水平井存在一些特定的技术问题。新疆油田早在 1993 年就开始了浅层稠油水平井的钻采尝试,在克拉玛依油田九₆、九₈区和风城地区分别进行了一些浅层稠油水平井的试验,利用斜井钻机钻成了 8 口垂深在 180~280m 的斜直水平井,由于上部为斜直井眼,具有初始 30°左右井斜角,使得浅层稠油水平井钻完井施工难度有所降低,但实际应用表明,应用斜井钻机钻成的浅层稠油斜直水平井存在一些明显不足:

(1) 斜井钻机作业费用昂贵,不能满足经济开发浅层稠油油藏的需要。

(2) 由于斜井钻机本身的设计问题,使得 $\phi 444.5\text{mm}$ 钻头和扶正器的连接下入困难,同时 $\phi 339.7\text{mm}$ 表套和 $\phi 244.5\text{mm}$ 的技套的井口螺纹连接作业困难。

(3) 由于井口为斜直段,需配斜采油树、斜抽油机及斜修井机。在井口处抽油杆摩阻大,易磨损,井口倾斜给采油和修井带来诸多不便,同时大大增加了采油和修井的成本,后期管理困难。

虽然前期用斜井钻机钻成的浅层稠油水平井取得了很好的开采效果,但由于以上原因,这项技术并未能够得到推广应用。为使水平井技术成为经济、有效地开发浅层稠油油藏的成熟工艺技术,必须改变原有的斜井钻机的方式钻浅层稠油水平井,而采用常规直井钻机方式,使稠油热采水平井的工艺技术尽快成熟并推广应用,成为浅层稠油开发的一种主要技术

* 王新,男,高级工程师,1972 年 10 月生,1995 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业,大学本科,2003 年获得石油大学(北京)油气井工程专业硕士学位,现在新疆石油管理局钻井工艺研究院化验中心工作,任化验中心副主任,主要从事定向井、水平井钻井技术研究及钻井液完井液、固井水泥浆分析化验工作。

通讯地址:新疆克拉玛依依鸿雁路 80 号钻井工艺研究院化验中心;邮编 834000;电话:(0990) 6883057 (办);13909902920 (手机);E-mail: wangxin7881@sina.com

手段和方式。2005 年在新疆克拉玛依油田九₈区开展了 HW9802 超浅层稠油水平井试验, 该井于 2005 年 8 月 13 日开钻, 8 月 17 日钻至井深 227m, 顺利下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管。9 月 2 日顺利将下入筛管完井。完钻井深 421.8m, 完钻垂深 144.09m, 井斜 91.2° , 闭合方位: 222.17° , 水平位移 329.42m, 位移与垂深比达到 2.28。HW9802 超浅层稠油水平井的工艺技术试验获得成功, 为当时国内应用常规直井钻机所钻垂深最浅的稠油水平井。

用直井钻机钻超浅层稠油水平井技术难点:

(1) 油藏埋深浅, 井段短, 应用常规直井钻机钻浅层稠油水平井要求造斜率高, 而在疏松地层大尺寸井眼钻具造斜率难以保证, 造斜段岩性差异大, 造斜规律复杂。

(2) 为满足后期稠油热采井筒下入双管的需要, 须下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管, 浅层水平井垂深浅, 垂直段短且下入的套管柱自重较轻, 井眼曲率高, $\phi 244.5\text{mm}$ 套管刚性大, 套管柱弯曲变形后会产生较大的摩阻力, 造成大尺寸套管下入困难, 管柱下入需要配套井口加压装置。

(3) 油层垂深小, 井段调整余量小, 井眼轨迹控制精度要求高。

(4) 钻进过程中目的层垂深的调整, 造成井眼轨迹调整困难。

1 井身结构及井眼剖面设计

1.1 井身结构设计

浅层稠油油藏埋深浅, 油藏温度低, 在常温下, 原油粘度极高, 开采困难。为增加原油自然流动的能力, 目前稠油普遍采用蒸汽吞吐稠油热采, 为满足采油的需要, 对井身结构提出以下要求:

第一, 采用 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管封隔目的层至井口之间的裸眼井段, 为高压蒸汽热采提供井眼条件;

第二, 水平段完井管柱使用 $\phi 177.8\text{mm}$ (或 $\phi 168.3\text{mm}$) 割缝筛管完井。

下入大尺寸完井管串的主要是由于大尺寸井眼为后期稠油热采作业提供了更大的作业空间, 有利用后期冲砂作业, 此外, 大尺寸井眼也利于注汽管柱的移动, 以保证水平段在储层各部分的均匀吸汽。

如图 1 所示, HW9802 井采用的井身结构为:

一开: 采用 $\phi 444.5\text{mm}$ 钻头钻至井深 25m, 下入 $\phi 339.7\text{mm}$ 表层套管, 封固表层疏松地层及水层, 为二开安装井口装置和安全钻井提供可靠条件。

二开: 采用 $\phi 311.2\text{mm}$ 钻头钻至设计靶窗 A 点, 下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管, 水泥返至地面。

三开: 采用 $\phi 215.9\text{mm}$ 钻头钻水平段至完钻井深, 下入 $\phi 168.3\text{mm}$ 割缝筛管, 悬挂在 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管内。

此井身结构 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管下至水平段靶窗窗口位置, 完全封隔了目的层以上地层, 为水平段后期热采生产创造了条件。但此井身结构中大尺寸技术套管下入至靶窗 A 点, 造斜段曲率高, 技术套管的下入摩阻大, 套管柱重量轻, 套管柱的下入存在较大的施工难度。

1.2 井眼剖面设计

井眼剖面设计应在确保超浅层水平井钻井和轨迹测量工艺实现安全、顺利钻达地质目标的前提下, 还应考虑稠油热采的开发和采油工艺要求。

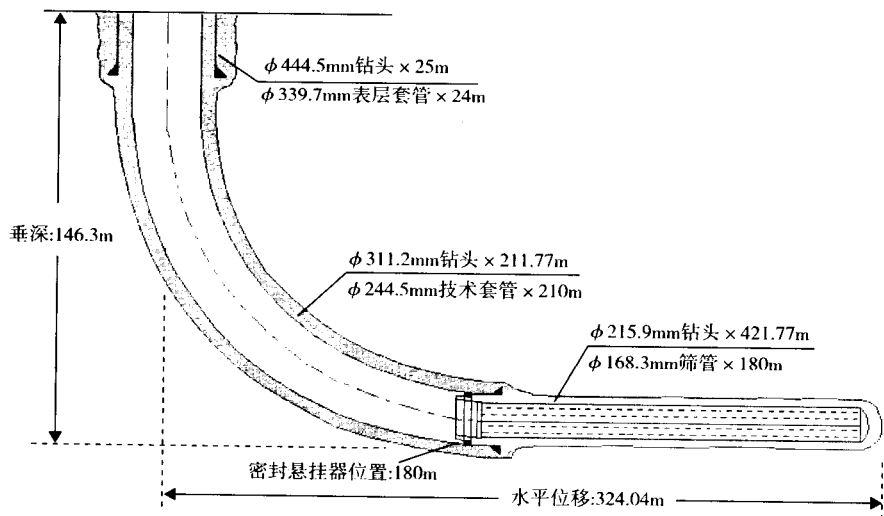


图 1 HW9802 井井身结构示意图

采油泵的下深既要有一定的沉没度，同时其工况又受到井斜角的影响。稠油热采井采油泵安放对井眼轨迹的要求为：距油层（水平段设计垂深）垂直高度 20m 井深处及以上井段井斜角均在 60° 以内。为适应热采工艺要求，完井油层套管（或筛管）尺寸应至少在 $\phi 168.3\text{mm}$ 或以上。

结合以上要求，井眼剖面设计为：

(1) 开发目的层垂深浅，结合水平井钻井技术、设备及工具能力，选择“直—增—稳”二维三段制井眼剖面。该剖面相对简单，工具选择方便，施工易于控制；三段制井眼剖面弯曲井段相对较短，利于降低管柱下入摩阻。

(2) 满足地质靶区要求，同时考虑到井眼剖面优化，确保 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管能够安全顺利下入，同时可加快钻井速度，利于钻井成本控制等因素，确定造斜段造斜率为 $13^{\circ}\sim 16^{\circ}/30\text{m}$ 的中曲率半径水平井。如采用更高造斜率的中短曲率半径井眼剖面，一方面，大尺寸钻具造斜率难以达到中短曲率半径造斜率要求；另一方面，大尺寸套管柱由于螺纹丝扣屈服强度、下入摩阻等原因也难以下入。

HW9802 井井眼剖面设计数据见表 1，井眼轨迹见图 2。

表 1 HW9802 井井眼剖面设计数据

井段	井深 (m)	井斜角 (°)	垂深 (m)	水平位移 (m)	造斜率 (°/30m)
直井段	33.12	0	33.12	0	0
增斜段	151.64	60	131.14	56.59	15.187
	211.77	90.44	146.3	114.05	
水平段	421.77	90.44	144.7	324.04	0

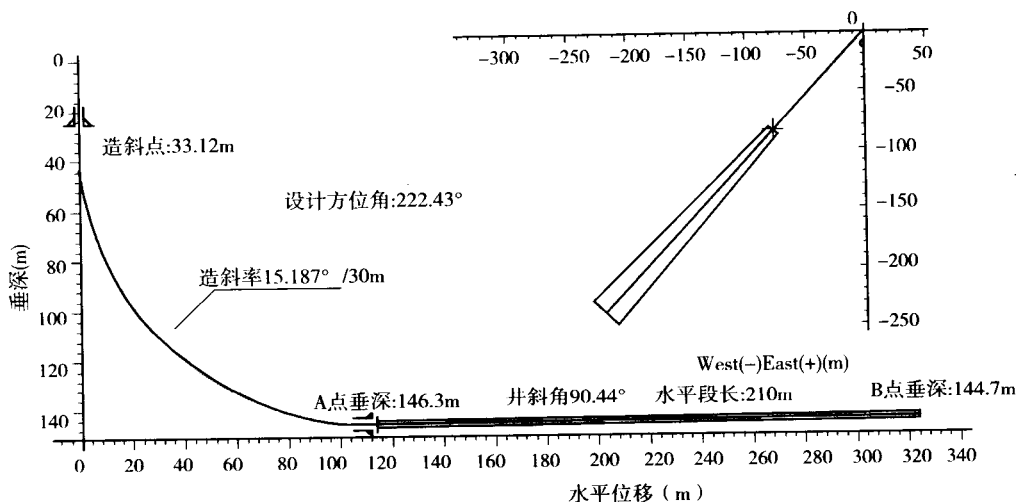


图2 HW9802 井设计井眼轨迹图

2 现场施工工艺

HW9802 井是新疆油田开发公司在克拉玛依油田九区部署的应用直井钻机钻的浅层稠油水平井,是目前国内外应用直井钻机钻的垂深最浅的一口水平井(A点垂深146.3m)。该井位于克—乌大断裂上盘。主要目的层为侏罗系齐古组,储层有效厚度平均为9m,齐古组储层地层岩性以中—细砂岩为主,夹不等粒粗砂岩及含砾砂岩。

2.1 造斜段

造斜段钻具组合: $\phi 311.2\text{mm}$ 钻头 + $\phi 197\text{mm}$ 双弯螺杆 + MWD 短节 + $\phi 177.8\text{mm}$ 无磁钻铤 + $\phi 127\text{mm}$ 加重钻杆 + $\phi 177.8\text{mm}$ 钻铤。

钻井参数: 钻压 20~50kN, 泵压 8~9MPa, 排量 32L/s。

考虑到浅层地层疏松,钻具造斜率偏低,加之下入的螺杆钻具弯角已达到井眼能通过的极限,要实现设计 15.187°/30m 的造斜率有一定困难,因此实际施工中造斜点比设计提前 3.12m 开始造斜,造斜点提前至井深 30m 处。造斜钻进中,根据井眼轨迹控制需要先后起钻更换钻具结构 6 次,并进行钻具倒换,使施加钻压的钻铤始终处于直井段及井斜较小的斜井段。8月16日钻至井深 227m 完成造斜段的施工,造斜段平均造斜率 13.95°/30m,测深 213.4 m,井斜 87.28°,方位 221.2°,预计井底井斜角 93°,进入靶区 A 点,提钻下入 $\phi 310\text{mm}$ 单稳定器通井钻具组合通井,并大排量清洗井眼,井眼通畅后于 2005 年 8 月 17 日开始下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管,技术套管下入至井深 197m 处,套管下入摩阻大于套管自重,依靠套管柱自重下入困难,采用套管下压装置进行地面加压,使 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管最终顺利下入到预定井深,固井中完。下钻钻灰塞,钻至井深 220m 进行清水洗井,将套管内的钻井液和混浆全部用清水置换后,提钻下入鹰眼仪器对 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管内进行井下鹰眼照相,观察 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管在弯曲造斜井段无明显变形情况发生。

2.2 水平段

水平段钻具组合: $\phi 216\text{mm}$ 钻头 + $\phi 165\text{mm}$ 弯螺杆 + MWD 短节 + $\phi 127\text{mm}$ 无磁钻杆 + $\phi 127\text{mm}$ 斜坡钻杆 (80~280m) + $\phi 127\text{mm}$ 加重钻杆 + $\phi 177.8\text{mm}$ 钻铤。

钻井参数：钻压 50~80kN，泵压 8~10MPa，排量 28L/s。

水平段靶窗高为±1m，钻进采用小度数单弯螺杆钻具配合转盘进行复合钻进，MWD 无线随钻仪器进行井眼轨迹监测，根据测量数据及时调整水平段井眼轨迹，使实钻井眼轨迹在设计靶窗中钻进（表 2）。

该井于 2005 年 9 月 1 日顺利完钻，完钻井深为 421.8m，水平段平均机械钻速 14.5m/h。通井电测完成后，顺利下入 $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管，管串结构为： $\phi 168.3\text{mm}$ 全钢引鞋 + $\phi 168.3\text{mm}$ 套管 1 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管 2 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 套管 1 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管 2 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 套管 1 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管 2 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 套管 1 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管 2 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 套管 1 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管 2 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 套管 1 根 + $\phi 168.3\text{mm}$ 筛管 2 根 + $\phi 168.3\text{mm} \times \phi 177.8\text{mm}$ 变扣接头 + $\phi 177.8\text{mm} \times \phi 244.5\text{mm}$ 悬挂器 + $\phi 177.8\text{mm} \times \phi 244.5\text{mm}$ 耐热封隔器 + 送入管柱。送入钻具为： $\phi 177.8\text{mm}$ 钻铤 + $\phi 127\text{mm}$ 加重钻杆， $\phi 168.3\text{mm}$ 完井尾管悬挂在 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管内，丢手提出送入钻具完井。

表 2 HW9802 井设计与实钻数据

名称	井深 (m)	垂深 (m)	造斜点 (m)	闭合方位 (°)	水平段长 (m)	水平位移 (m)	造斜率 (°/30m)
设计数据	421.77	144.69	33.12	222.43	210	324.04	15.187
实钻数据	421.80	144.09	30	222.17	215.37	329.42	13.45

2.3 主要工程技术措施

对 HW9802 井施工中存在的主要技术难题，施工中采取了相应的工程技术措施，成功钻成了这口当时国内垂深最浅的超浅层稠油水平井。

(1) 浅层疏松地层大尺寸井眼中高造斜率实现难度大，为给井眼轨迹控制创造更有利的条件，HW9802 井将表层套管下深由原 30m 改为 25m；

(2) 实钻造斜点距离表层套管鞋仅 5m，定向造斜时随钻测量仪器受到套管磁性干扰，采用地面定向法进行初始定向作业；

(3) 实钻井眼轨迹控制提高造斜初始井段的造斜率，避免高造斜率集中在下部井段；

(4) $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管下部结构应尽量简化，HW9802 超浅层水平井技术套管设计采用不下浮箍方式，前 5 根技术套管及下部结构用螺纹粘接剂粘接；

(5) 常规直井钻机不具备提供井口加压能力，施工中在下入 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管及 $\phi 168.3\text{mm}$ 尾管作业前应准备好相应的井口加压装置以及相关配套工具；

(6) 在三开前，对 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管内进行井下鹰眼照相，以取得套管在弯曲井段的真实状况资料；

(7) 三开水平段钻进过程中在套管内钻具中安装钻具防磨套，用于保护 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管；

(8) 疏松浅地层中钻具下入和套管柱下入摩阻大，二开、三开钻井液体系采用混油体系，以利于井眼润滑及井壁稳定。

3 大尺寸井眼高造斜率的实现

当今世界水平井钻井技术的水平已经相当高，短半径水平井技术的发展，打破了以往常

规定向井、水平井的观念,将造斜工具的造斜能力发挥到了极限,因此,单纯从工具的角度来看,造斜率的选择几乎不受什么限制。但对特定的油藏、地层、井眼尺寸,设计一定的造斜率,满足轨迹设计、钻井施工及完井的要求则需对工具进行认真的筛选。

新疆油田九区浅层稠油油藏埋藏浅,地层胶结疏松,可钻性很好,对造斜工具的造斜率有不利影响。同时,由于热采的要求,井眼尺寸比较大,相应的工具尺寸变大,刚度增大,此时,大的弯角设计将可能导致工具无法下入(尤其带大钻头),因此,限制了大尺寸大弯角钻具的使用。综合考虑油藏埋深,工具造斜能力、套管下入并考虑采油工艺对钻井的要求,推荐采用中曲率水平井,井眼轨迹剖面选择造斜率 $13^{\circ}/30\text{m} \sim 16^{\circ}/30\text{m}$,现有的钻井工具和仪器可满足软地层的造斜要求,理论计算也证明造斜率满足上述水平井井身剖面方案中的造斜率要求。

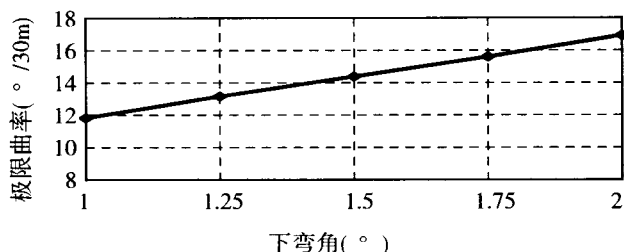


图3 51LZ197 双弯螺杆钻具下弯角对其极限曲率的影响

对于 $\phi 311\text{mm}$ 井眼,如果井眼扩大率为 5%,则平均井眼直径为 327mm,结合浅层稠油水平井钻井过程中所使用的螺杆钻具结构和钻井参数,图 3 是双弯螺杆钻具上弯角为 1° 时,其极限曲率随下弯角的变化曲线。

图 3 表明,增大双弯螺杆钻具的下弯角可以有效地增加其增斜率。对于浅层稠油水平井而言,要求在有限的井段内,使井斜角增加至 90° 左右,客观上要求使用较高造斜率的造斜钻具组合。为取得较高的造斜率,一种有效的途径就是选用具有较大弯角的螺杆钻具。

计算表明, $1^{\circ} \times 1.75^{\circ}$ 双弯螺杆的极限曲率为 $15.62^{\circ}/30\text{m}$, $1^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 双弯螺杆的极限曲率为 $14.19^{\circ}/30\text{m}$ 。极限曲率是钻具所能达到的最大曲率,如前所述,钻具的实际造斜率要小于极限曲率。以上两种增斜钻具组合,即使在考虑一个影响系数后,仍能达到设计造斜率的要求。故可以根据目的层垂深选择合适的弯螺杆钻具作为浅层稠油水平井的造斜钻具组合。

4 钻井液、完井液技术

由于垂深较浅,地层压实作用差,钻进中易出现强造浆和坍塌掉块等复杂情况,加之超浅层稠油水平井斜垂比较大,管柱下入摩阻大,因此超浅层稠油水平井要求钻井液体系具有良好的携岩能力、降摩阻能力,同时目的层埋藏浅、地层疏松,要求钻井液要有良好的防塌能力,从而确保井眼畅通,防止压差卡钻、井壁失稳等复杂事故。现场施工中要有足够的泵排量,保持井眼环空返速在 1.0m/s 以上;其次要保证良好的钻井液性能,动塑比控制在 $0.3 \sim 0.5\text{Pa}/(\text{mPa} \cdot \text{s})$,动切力控制在 $4 \sim 12\text{Pa}$;钻井过程中要坚持短程起下钻和洗井,以达到破坏岩屑床和清除岩屑的目的。造斜前一次性混油 5%,并加入乳化剂进行充分乳化,使原油在钻井液中均匀分散成油珠,在泥饼表面形成一层油膜,减小泥饼的摩擦系数,增加钻井液的润滑性,减少钻具与井壁的摩阻及扭矩。HW9802 超浅层稠油水平井二开井段采用聚合物混油钻井液体系,三开水平段采用聚合物混油暂堵钻井液体系。

5 完井工艺技术

HW9802 井能否将 $\phi 244.5\text{mm}$ 技术套管安全顺利下至垂深仅有 146.3m 的水平段窗口 A 点, 及能否将 $\phi 177.8\text{mm}$ 完井管柱顺利下入 210m 水平段至井底, 是该井施工的关键, 常规直井钻机本身没有加压装置。这其中不仅涉及提供管柱下入动力的问题, 还牵涉到对大尺寸管柱在高曲率井眼中的螺纹密封变形、强度等管柱安全问题。因此, 在钻前需从几个方面对管柱的安全下入问题进行了充分评估和论证, 确保固井、完井各项施工的顺利实施。

5.1 技术套管连接螺纹的选择

针对稠油热采井保证井筒注蒸汽对套管良好密封能力的要求, 根据 API 推荐的套管螺纹最高泄漏压力数据, 并考虑热采井中温度引起的轴向载荷以及水平井中管柱的弯曲应力, 应选取具有较大抗拉强度的螺纹类型。梯形螺纹 BTC 的抗拉安全系数和抗弯曲破坏能力都大于 LTC, 因此超浅层稠油水平井技术套管及完井套管螺纹应选择 BTC 扣形。

5.2 大尺寸技术套管的径向变形分析

应用直井钻机钻浅层大位移水平井, 很显然提高了对造斜段造斜率的要求, 同时, 造斜率的提高, 井眼曲率的增大, 必然导致 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管的下入和径向变形问题。水平井弯曲井段套管柱的设计应该考虑弯曲情况下套管的径向变形、螺纹连接强度和连接抗密封能力。发生径向变形的套管除了降低套管的抗挤强度外, 较大的径向变形还会影响钻井工具和完井工具的下入。因此, 针对设计的井眼曲率, 计算分析大尺寸套管径向变形问题是评估能否用直井钻机钻成浅层大位移水平井的重要工作之一。

采用有限单元分析法中的分步法对套管在弯曲井眼中的变形进行计算分析, 即第一步, 利用有限元管网单元模型求出套管在弯曲井眼内初始变形; 第二步, 利用有限元板壳单元模型, 计算套管的径向变形。

图 4 计算给出了工况为合理布放扶正器时, $\phi 244.47\text{mm}$, 壁厚 11.99mm 套管在不同的轴向载荷及井眼曲率条件下, 套管直径减少量。

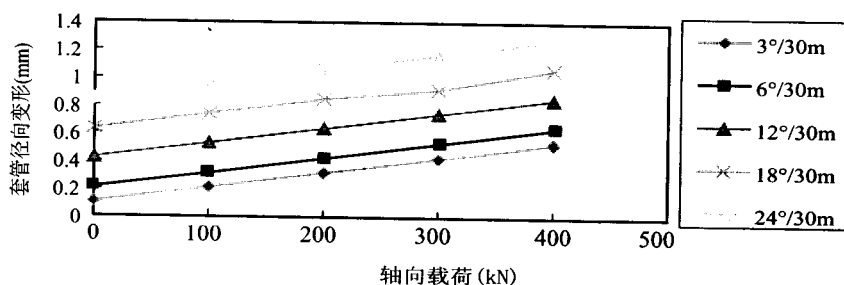


图 4 弯曲井段套管径向变形与轴向载荷的关系

通过计算, 轴向载荷为 200kN (按最大考虑) 井眼曲率为 $18^\circ/30\text{m}$ 时, $\phi 244.5\text{mm}$ 的套管柱径向变形量仅为 0.8mm, 因此, 针对直井钻机钻浅层大位移水平井所需的造斜率, 套管径向变形的问题不足以影响下部钻井工具和完井工具的下入。

5.3 大尺寸技术套管下入最大井眼曲率分析

限制套管允许通过的最大井眼曲率的因素是弯曲应力达到多大时由于应力集中而使连接破坏, 或使螺纹密封失效。