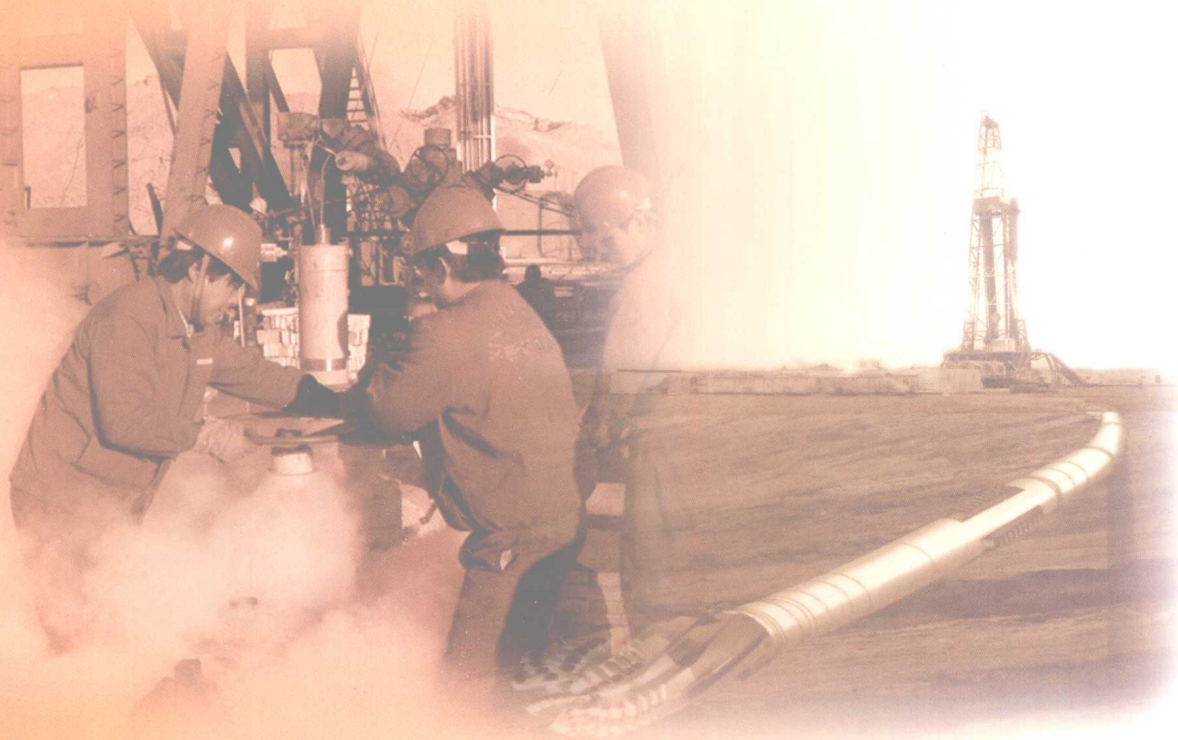


石油工程专业高职高专项目课程教材

SHIYOU GONGCHENG ZHUANYE GAOZHI GAOZHUAN XIANGMU KECHENG JIAOCAI

特殊工艺井钻井技术

主编 张淑芹 李培佳

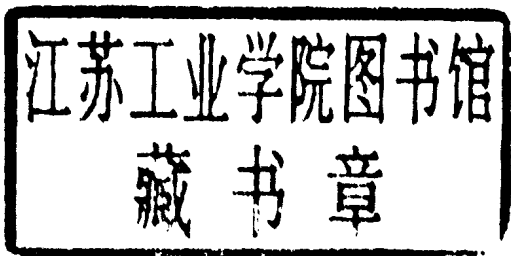


石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油工程专业高职高专项目课程教材

特殊工艺井钻井技术

主编 张淑芹 李培佳



石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据高职院校教育的特点,按新的教材体系要求编写,主要包括水平井钻井技术、大位移井钻井技术、套管开窗侧钻井技术及其他特殊工艺钻井技术,并介绍了这些特殊工艺钻井工程中的一些典型案例,讲述了主要的相关知识要点,通过有关的操作技能,最后进行理论和技能考核,达到掌握知识的目的。

本书具有工学结合、针对性强的特点,可供高职院校相关专业使用,还可作为职工培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

特殊工艺井钻井技术/张淑芹,李培佳主编.

北京:石油工业出版社,2008.9

石油工程专业高职高专项目课程教材

ISBN 978-7-5021-6759-2

I. 特…

II. ①张…②李…

III. 油气钻井-高等学校:技术学校-教材

IV. TE242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 135080 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)64523546 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:中国石油报社印刷厂

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:9.5

字数:240 千字

定价:18.00 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

前 言

在教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号文件)的引领下,我国高等职业教育正在进行深入的教学改革。按照16号文件的要求,高等职业教育专业课程体系要符合高技能人才培养目标和相关技术领域职业岗位(群)的任职要求;以职业能力培养为重点,根据行业企业发展需要和完成职业岗位实际工作任务所需要的知识、能力、素质要求,选取教学内容;遵循学生职业能力培养的基本规律,以真实工作任务及其工作过程为依据整合、序化教学内容、科学设计学习性工作任务,教、学、做结合,理论与实践一体化。

2008年3—4月,我们到新疆克拉玛依、大港、华北等油田,针对学生今后的工作岗位和实际需要,就有关专业课程的设置、内容、实习实训等环节,与现场人员进行了充分的交流。

本书编写的依据是中国石油石化行业的职业资格鉴定标准,有关钻井公司的岗位培训资料,以及现场具体案例。通过与中国石油长城钻井有限责任公司长期从事钻井培训工作的同志的认真研讨,合作开发了基于工作过程的《特殊工艺井钻井技术》教材,凸显职业教育特点,满足油田企业人才培养要求。

本书紧密结合岗位实际,以能力培养为目标,理论知识够用为度,以项目过程的需求为要点,确定课程的知识内容。按照特殊工艺井类型分成四个单元,每个单元首先推出钻井过程案例,由案例引导出知识要点和相关的操作技能,其中的知识要点和操作技能都是围绕着将来工作岗位后的应知应会而编写的。本书取消了传统的章节编写方式,以课题单元形式进行编写,每个单元都是一个完整的工作过程,更加符合学生的认知规律。每个单元后面都有理论和技能考核,学生掌握了这些基本知识要点和操作技能,基本达到了教学要求。另外,由于和现场结合紧密,本书也可作为企业员工的培训教材。

本书由张淑芹(天津石油职业技术学院)、李培佳(中国石油渤海钻探工程公司)任主编。参加本书编写的还有天津石油职业技术学院韩永辉、李建铭、孙换引、倪攀、郭广吉、武德民、崔素红、梁晶;中国石油渤海钻探工程公司王庆宏、王立艳。中国石油渤海钻探工程公司王保记任主审。

在本书筹划和编写过程中,得到了中国石油渤海钻探工程公司、中国石油西部钻探工程有限公司有关领导和专家的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编写人员水平有限,书中难免存在不完善之处,恳请使用本教材的广大师生提出宝贵意见。

编 者

2008年7月

目 录

第1单元 水平井钻井技术	(1)
1.1 水平井案例——DH1-H4井	(1)
1.1.1 概述	(1)
1.1.2 工程设计	(2)
1.1.3 设计与实钻轨迹图	(3)
1.1.4 施工简况	(4)
1.1.5 主要技术措施	(5)
1.1.6 几点建议	(5)
1.2 知识要点	(5)
1.2.1 知识要点1——水平井的基本知识	(6)
1.2.2 知识要点2——水平井专用工具	(13)
1.2.3 知识要点3——水平井所用测量仪器	(20)
1.2.4 知识要点4——钻井技术	(25)
1.2.5 知识要点5——固井技术	(32)
1.3 操作技能	(36)
1.3.1 项目1——二维水平井轨道设计方法	(36)
1.3.2 项目2——工具的检查与使用	(37)
1.3.3 项目3——螺杆动力钻具的使用	(38)
1.3.4 项目4——有线随钻测量仪的使用	(40)
1.3.5 项目5——(YST-48R)MWD井场操作	(40)
1.3.6 项目6——转盘造斜段和稳斜段的施工步骤	(44)
1.4 考核	(44)
1.4.1 理论考核	(44)
1.4.2 技能考核	(46)
第2单元 大位移井钻井技术	(48)
2.1 大位移井实际案例——北堡西3×1井	(48)
2.1.1 概要	(48)
2.1.2 北堡西3×1井的设计	(48)
2.1.3 各井段重点施工技术	(51)
2.1.4 钻井施工基本情况	(53)
2.1.5 几点经验	(55)
2.2 知识要点	(55)
2.2.1 知识要点1——大位移井基本知识	(55)
2.2.2 知识要点2——专用工具	(56)

2.2.3	知识要点3——大位移井的测量系统	(62)
2.2.4	知识要点4——钻井技术	(63)
2.2.5	知识要点5——大位移井的固井作业技术	(67)
2.3	操作技能	(74)
2.3.1	项目1——随钻震击器的使用	(74)
2.3.2	项目2——BOSS II 陀螺仪的使用	(75)
2.3.3	项目3——SRO 地面记录定向陀螺测斜仪	(77)
2.3.4	项目4——定向井斜井段的施工	(79)
2.3.5	项目5——复杂情况的预防和处理	(82)
2.4	考核	(85)
2.4.1	理论考核	(85)
2.4.2	技能考核	(87)
第3单元	套管开窗侧钻井技术	(88)
3.1	侧钻水平井案例——草20-12-侧平13水平井	(88)
3.1.1	概述	(88)
3.1.2	设计技术及基础数据	(88)
3.1.3	轨迹控制技术	(90)
3.1.4	测量技术	(90)
3.1.5	钻井液及固井技术	(91)
3.1.6	全井基本数据	(91)
3.1.7	体会和认识	(91)
3.1.8	技术成果	(93)
3.2	知识要点	(93)
3.2.1	知识要点1——套管开窗侧钻井的基本知识	(93)
3.2.2	知识要点2——侧钻井作业工具	(94)
3.2.3	知识要点3——开窗技术	(98)
3.2.4	知识要点4——完井技术	(102)
3.3	操作技能	(104)
3.3.1	项目1——导斜器的下入操作	(104)
3.3.2	项目2——段铣器开窗侧钻施工	(105)
3.3.3	项目3——固定锚斜向器式套管定向开窗侧钻施工	(107)
3.3.4	项目4——QuickCut™套管开窗系统作业	(110)
3.4	考核	(110)
3.4.1	理论考核	(110)
3.4.2	技能考核	(112)
第4单元	其他特殊工艺井钻井技术	(113)
4.1	分支井、多底井简介	(113)
4.1.1	分支井、多底井的概念	(113)

4.1.2	分支井的演变	(113)
4.1.3	分支井的基本类型	(114)
4.1.4	分支井的优点	(114)
4.1.5	分支井的适用条件	(114)
4.1.6	分支井钻井作业技术	(114)
4.2	丛式井	(115)
4.2.1	丛式井的基本概念和特点	(115)
4.2.2	丛式井的应用	(115)
4.2.3	丛式井的作业特点	(115)
4.3	深井、超深井	(116)
4.3.1	深井超深井的基本概念和特点	(116)
4.3.2	深井超深井钻井技术发展概况	(117)
4.3.3	发展深井超深井钻井技术的意义	(117)
4.3.4	深井超深井钻井设备	(117)
4.3.5	影响深井超深井钻井速度及效益的主要原因	(119)
4.3.6	提高深井超深井机械钻速的措施	(120)
4.4	小井眼钻井	(120)
4.4.1	小井眼的概念和特点	(120)
4.4.2	小井眼钻井的技术难题	(121)
4.4.3	小井眼钻井所用钻机设备和钻具	(122)
4.4.4	井涌检测技术	(124)
4.4.5	小井眼压井方法——动态压井法	(125)
4.5	欠平衡钻井	(126)
4.5.1	基本知识	(126)
4.5.2	欠平衡钻井井场布置	(127)
4.5.3	欠平衡压力钻井设备	(128)
4.5.4	几种常用的欠平衡钻井技术	(131)
4.5.5	欠平衡压力钻井的井控问题	(134)
4.6	套管钻井	(134)
4.6.1	套管钻井的概念和特点	(134)
4.6.2	Weatherford 套管钻井工具	(135)
4.6.3	套管钻井工艺技术	(136)
4.7	考核	(137)
4.7.1	理论考核	(137)
4.7.2	技能考核	(138)
附录1	欠平衡钻井应用案例	(139)
附录2	小井眼钻井应用案例	(141)
参考文献		(144)

第1单元 水平井钻井技术

1.1 水平井案例——DH1-H4 井

1.1.1 概述

DH1-H4 井是一口中曲率超深水平井,是世界级超深水平井,该井位于新疆库车县境内。其构造位置为塔里木盆地塔北隆起东河塘断裂构造带东河1背斜构造,目的层为石炭系东河砂岩油藏,是挖潜东河油田C_{III}油组1、2岩性段剩余油藏,也是为提高采收率,完善开发井网,调整产业结构,以实现整个油田的稳产。设计井深6304.4m,垂深5713.75m,造斜点5475m,水平位移701.9m,最大井斜90°。在施工中采用了MWD(PCD探管)无线随钻测量系统、ESS多点测量仪器和抗高温、大扭矩、低转速动力钻具,克服了地层高温(130℃,仪器使用温度125℃)对测量仪器和螺杆钻具造成的损害,确保了测量数据的准确性和定向工具的可靠性,为今后超深水平井的顺利施工积累了成功经验。2005年1月29日24:00顺利完钻,完钻井深6285.00m。钻井周期为132天2小时,斜井段钻井周期为31天1小时,斜井段比设计提前了51天23小时,刷新了一项国内同类水平井钻井周期最短新纪录。

DH1-H4 井基本数据见表1.1。

表1.1 DH1-H4 井基本数据

井号:DH1 - H4				地理位置:库车县东河塘乡西南7km处				
地质 简况	井别	生产井		井口	A	B	C	D
			X	4593836.3	4594014.8	4594336.0		
			Y	14677056.9	14677232.8	14677548.0		
	地层 分层	名称	第四系	新近系	古近系	白垩系	侏罗系	石炭系
		底界(垂深)(m)	150.00	4446.5	4577.00	5088.00	5534.00	5880.00
		厚度(垂深)(m)	150.00	4296.00	130.80	510.5	446.5	345.5
施 工 工 序 时 间	一开时间		2004.09.20—20:00		速 度 指 标	钻井周期(天)		132天2小时
	二开时间		2004.09.26—03:50			建井周期(天)		
	三开时间		2004.11.19—8:00			钻机月(台月)		4.403
	造斜时间		2004.12.29—23:00			钻机月速(m/台月)		1517.15
	完钻时间		2005.01.28—15:00			平均机械钻速(m/h)		
设 计 井 深 结 构	套管层次		钻头尺寸×井深 (mm×m)		套管尺寸×下深 (mm×m)		固井情况	
	表层套管		444.5×996.52		339.7×996.52		井口	
	技术套管		311.1×5150.00		244.5×5147.32		井口	
	油层套管		215.9×6304.0		177.8×4800.0			
	油层套管		215.9×6304.0		139.7×6304			
	筛管							

1.1.2 工程设计

DH1 - H4 井设计数据见表 1.2,修改设计数据见表 1.3。

表 1.2 DH1 - H4 井设计数据

井 号	DH1 - H4		队 号	70551	公 司	新疆石油管理局第四勘探公司			
井 型	水平井		设计轨道类型		直—增—增—增—平				
补心高(m)	9.00		设计方位(°)	44.46	设计井深(m)			6304.40	
造斜点(m)	5475.75		靶前位移(m)	251.90	水平段长(m)			450.00	
靶区范围	A、B 靶心允许上下摆动 1m,左右摆动 10m,前后移动 ±10m AB 水平段井眼轨迹在 2.0m × 20m × 450m 的范围内运行								
端 点	坐标				海拔(m)	井深(m)	垂深(m)		
	X		Y						
井 口	4593836.3		14677056.9						
A 点	4594014.8		14677232.8		-4730.5	5854.39	5716.25		
B 点	4594336.0		14677548.0		-4730.5	6304.40	5716.25		
C 点									
D 点									
设计剖面	特殊点	井深(m)	垂深(m)	井斜(°)	方位(°)	南北(m)	东西(m)	位移(m)	造斜率(°/100m)
	造斜点	5475.75	5475.75	0.00	44.46	0.00	0.00	0.00	0.00
	增斜段	5625.75	5610.80	45.00	44.46	39.93	39.18	55.94	30.00
	增斜段	5743.71	5685.07	56.80	44.46	105.15	103.18	147.32	10.00
	A 点	5854.39	5716.25	90.00	44.46	179.79	176.44	251.90	30.00
	B 点	6304.4	5716.25	90.00	44.46	501.00	491.60	701.51	0.00
	C 点								
	D 点								

表 1.3 DH1 - H4 井修改设计数据

井 号	DH1 - H4	队 号	70551	公 司	新疆石油管理局第四勘探公司
井 型	水平井	设计轨道类型		直—增—增—增—平	
补心高(m)	9.00	设计方位(°)	44.46	设计井深(m)	6304.40
造斜点(m)	5475.75	靶前位移(m)	251.90	水平段长(m)	450.00
靶区范围	A、B 靶心允许上下摆动 1m,左右摆动 10m,前后移动 ±10m AB 水平段井眼轨迹在 2.0m×20m×450m 的范围内运行				
端 点	坐标		海拔(m)	井深(m)	垂深(m)
	X	Y			
井 口	4593836.3	14677056.9			
A 点	4594014.8	14677232.8	-4728.00	5854.39	5713.25
B 点	4594336.0	14677548.0	-4728.00	6304.40	5713.25

续表

端 点		坐标				海拔(m)	井深(m)	垂深(m)	
		X		Y					
C 点									
D 点									
设计剖面	特殊点	井深 (m)	垂深 (m)	井斜 (°)	方位 (°)	南北 (m)	东西 (m)	位移 (m)	造斜率 (°/100m)
	造斜点	5475.75	5475.75	0.00	44.46	0.00	0.00	0.00	0.00
	增斜段	5625.75	5610.80	45.00	44.46	39.93	39.18	55.94	30.00
	增斜段	5743.71	5685.07	56.80	44.46	105.15	103.18	147.32	10.00
	A 点	5854.39	5716.75	90.00	44.46	179.79	176.44	251.90	30.00
	B 点	6304.4	5716.75	90.00	44.46	501.00	491.60	701.51	0.00

1.1.3 设计与实钻轨迹图

(1)垂直剖面图(见图 1.1)。

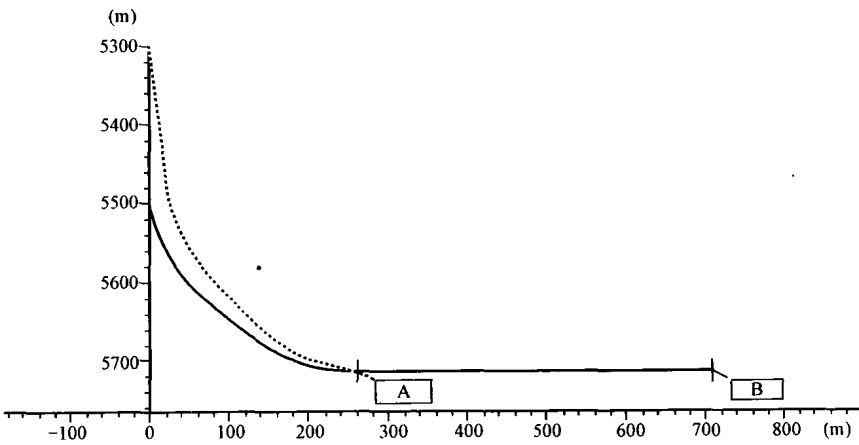


图 1.1 DH1 - H4 井垂直剖面图

(2)水平投影图(见图 1.2)。

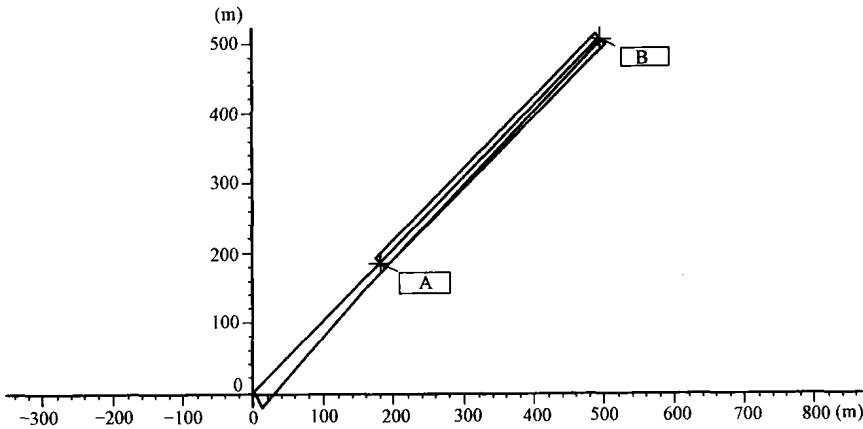


图 1.2 DH1 - H4 井水平投影图

1.1.4 施工简况

1. 斜井段

造斜段施工以单弯动力钻具增斜为主要钻进方式,导向钻进主要是清除岩屑床和修正井壁并完成造斜率较低的调整段。根据直井段的实际情况,结合甲方修改设计的方案,本井施工中采用 1.5° 单弯,配合 M1965D 钻头,从井深 5475m 处开始定向钻进。为了加快钻井速度,减少起下钻次数,定向成功后选择不同角度的单弯动力钻具配合牙轮或 PDC 钻头来获得需要的造斜率。利用 MWD 无线随钻监控井眼轨迹,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。2004 年 12 月 29 日 23:00 从井深 5475m 开始造斜,2005 年 1 月 14 日 9:00 钻进到井深 5835m 进入 A 点。360m 的斜井段共用 5 趟钻完成,用时 15 天 10 小时,创同类型水平井新纪录。

第五趟钻是进入 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,卡准了几个标志层,增斜钻进至 5815m、垂深 5711m、井斜 84° 时采用转盘 45r/min 导向钻进方式,以 $7^{\circ}/100\text{m}$ 造斜率微增钻进,当钻进到 5835m 时,井斜 85° ,垂深 5712.84m,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。

A 点中靶实际情况如下:

斜深: 5835.00m、垂深: 5712.84m、位移: 259.87m、井斜: 85.31° 、方位: 41.78° 、横距: 8.12m、纵距: 0.91m。

2. 水平段

水平段井眼轨迹控制的突出问题是钻具的稳定问题。该井的难点主要存在以下五个问题:

(1) 超深水平井,靶区范围小,轨迹控制难度大。本井靶区范围只有上下 1m,左右 10m,与同类型水平井相比靶区缩小了一倍。

(2) 砂岩研磨性强,PDC 钻头磨损严重。

(3) 钻进时钻井液排量较低,井眼内岩屑床现象严重。

(4) 压差较大,存在压差卡钻的因素。

(5) 地层温度较高(静止温度 130°C 、循环温度 125°C),国产螺杆承受不了高温,使用时间过长后,螺杆容易脱胶;无线随钻脉冲发生器寿命短,无线随钻 PCD 和多点 ESS 探管经常损坏。

受客观条件的限制和多种因素的影响,要想摸索出一套理想的绝对稳定的钻具组合是不可能的,只能做到大致稳中有降或稳中弱增的程度。本井采用带 210mm 扶正器的 1.25° 单弯马达选用 PDC 钻头,转盘 45r/min 钻水平段,井斜控制效果较好,同时大大提高了钻进速度。根据该地区钻进的经验,通过调整钻压,结合少量的定向降斜或增斜,达到水平段的平稳钻进,水平段 450m 共用了 4 趟钻,用时 15 天 13 小时,钻进到 6285m 完钻。

B 点中靶实际情况如下:

斜深: 6285.00m、垂深: 5713.08m、位移: 709.66m、井斜: 88.8° 、方位: 43.74° 、横距: 0.12m、纵距: 0.67m。

本井与其他同类型的水平井相比具有速度快的特点,主要原因:(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。但使用 M1965D 钻头钻进,钻井液性能必须过关,否则螺杆无法定向钻进。(2)轨迹控制的好,复合钻进多,加快了钻进速度;(3)钻井液密度(1.23g/cm^3)比其他井低,可钻性好,加快了钻进速度。(4)克服了地层高温(130°C ,仪器使用温度 120°C)对测量仪器和螺杆钻具造成的损害,确保了测量数据的准确性和定向工具的可靠性。

1.1.5 主要技术措施

(1)采用了抗高温、可靠性好的 MWD(PCD 探管)无线随钻测量系统和 ESS 多点测量仪器,保证井眼轨迹控制。

(2)优选抗高温导向液马达进行施工,组织了比设计能力高的导向液马达,满足各造斜段的具体要求。

(3)为确保钻具和井下安全,施工中尽量简化钻具组合,定期进行钻具倒换和探伤。

(4)井斜超过 60° 以后,防止拖压的措施是:①在造斜率合适的情况下力争导向多钻,以减少动力钻具造斜段;②选用扶正器结构合理的液马达;③采用合理的倒置钻具组合;④操作合理。

(5)水平段岩屑不易携带,容易出现岩屑床,主要采用了搞好钻井液性能,较大排量钻进,勤短起下钻,满足了携岩要求,保证井下安全。

(6)勤测 ESS 数据,以判断 MWD 数据的准确性,保证了入窗的准确性和安全性。

(7)在造斜段中,采用上部造斜率较高,下部造斜率稍低的工作原则进行施工,避免钻具疲劳。

(8)整个施工过程中,随时判断井下液马达、钻头、MWD 仪器的工作情况,确保井身质量和速度。

(9)水平段快钻时段,采用适时停钻,大排量循环返砂,定向段进行短起下钻作业,确保安全优质,达到了快速钻进的目的。

(10)井眼轨迹的平滑、钻井液性能的稳定、净化设备的合理利用,有利于携带岩屑、降低摩阻、减小扭矩。

1.1.6 几点建议

(1)靶区范围缩小对提高产能起不到好的作用。东河塘油田东河砂岩油层特别厚,一般在 40m 左右,但油层内泥岩夹层特别多,夹层厚度一般在 $0.3 \sim 0.5\text{m}$ 之间。由于靶区垂深给定在上下 1m 范围内钻进,靶区小,轨迹受到约束,水平段钻进过程中,经常碰到泥岩夹层,在泥岩内钻进几十米后才能离开泥岩夹层,造成油层裸露的面积减少,产能下降;如果靶区范围扩大(如 DH1-H2 井),水平段轨迹可以上下浮动,既避开了泥岩夹层,又提高了油层穿透率,增大了产能,还大大加快了钻井速度。

(2)本地区水平井不适用水平段,垂深不变,即不适用 90° 水平段钻进的水平井。由于该地区油层较厚,油层内泥岩夹层较多,可以设计一个 A、B 靶点有一定垂深落差的水平井,即水平段井斜 88° 左右的水平井。这样既防止了水平段轨迹在泥岩夹层内长距离的钻进,又增加了钻穿油层的厚度,提高了产能。

1.2 知识要点

通过上述水平井钻井案例分析,可以发现水平井的钻井过程比常规钻井要复杂得多,从设计到施工,都包含着很多比直井复杂的理论技术和相应的施工作业技术。首先,进一步分析该

钻井过程中所涉及的理论知识。另外,由于地质因素等多方面的原因,同样都是水平井,但每一口水平井所用的工具和施工方法等并不完全一样,分析该井的同时也要掌握一些水平井的普遍知识。

分析整个水平井钻井过程,可以总结出几个知识要点,即水平井的基本知识、水平井专用工具、测量仪器、钻井技术(剖面设计技术、轨迹控制技术和安全钻进技术)和固井技术。下面结合案例进行总结和分析。

1.2.1 知识要点1——水平井的基本知识

1. 水平井的概念

水平井是指井斜角大于或等于 86° , 并保持这种井斜角在目的层中维持一定长度的水平井段的特殊井,如图 1.3 所示。水平井是定向井的一种特例,图 1.4 是三维水平井,水平井钻井技术是常规定向井钻井技术的延伸和发展。井斜角大于或等于 86° 的井段称为水平段。钻水平井的主要目的是获得较高的油气产能。

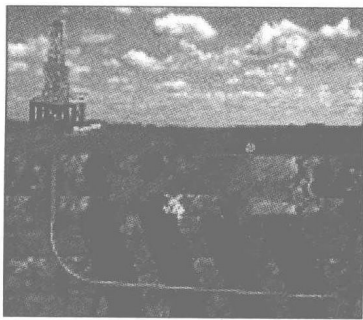


图 1.3 水平井示意图

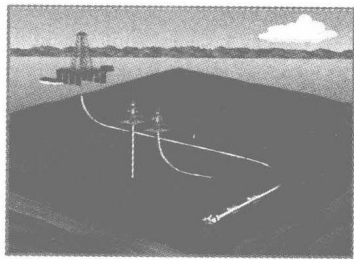


图 1.4 三维水平井示意图

2. 一些常用参数概念

(1)井深:指井口(转盘面)至测点的井眼实际长度,人们常称为斜深。国外称为测量深度。

(2)测深:测点的井深,即测量装置所在井深。

(3)井斜角:该测点处的井眼方向线与重力线之间的夹角(见图 1.5)。井斜角常以希腊字母 α 表示,单位为 $(^\circ)$ 。

(4)井斜方位角:是指以正北方位线为始边,顺时针旋转至井斜方位线所转过的角度(见图 1.6)。井斜方位角常以希腊字母 ϕ 表示,单位为 $(^\circ)$ 。实际应用过程中常常简称为方位角。

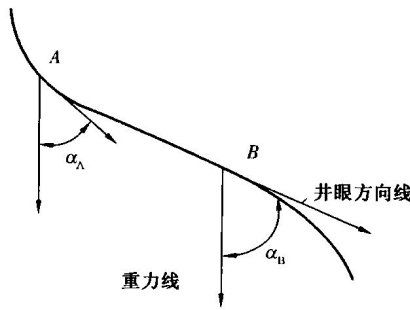


图 1.5 井斜角示意图

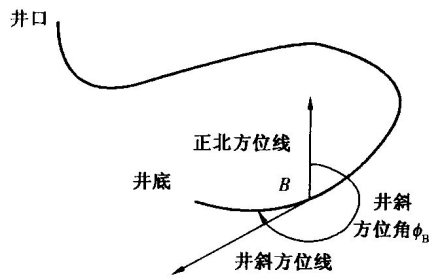


图 1.6 井斜方位角示意图

(5)磁方位角:磁力测斜仪测得的井斜方位角是以地球磁北方位线为准的,称为磁方位角。

(6)磁偏角:磁北方位线与真北方位线并不重合,两者之间有一个夹角,这个夹角称为磁偏角,如图 1.7 所示。磁偏角又有东磁偏角和西磁偏角之分,当磁北方位线在正北方位线以东时,称为东磁偏角;当磁北方位线在正北方位线以西时称为西磁偏角。进行磁偏角校正时按以下公式计算:

$$\text{真方位角} = \text{磁方位角} + \text{东磁偏角}$$

$$\text{真方位角} = \text{磁方位角} - \text{西磁偏角}$$

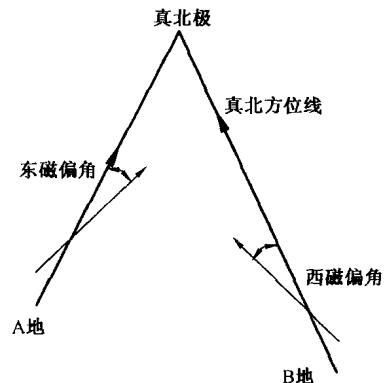


图 1.7 磁偏角示意图

(7)井斜变化率:是指井斜角随井深变化的快慢程度,常以 K_α 表示,精确地讲,井斜变化率是井斜角度(α)对井深(L)的一阶导数,即

$$K_\alpha = \frac{d\alpha}{dL} \quad (1.1)$$

井斜变化率的单位常以 $^\circ/100\text{m}$ 表示。

(8)井深方位变化率:实际应用中简称方位变化率,是指井斜方位角随井深变化的快慢程度,常用 K_ϕ 表示,计算公式如下:

$$K_\phi = \frac{d\phi}{dL} \quad (1.2)$$

(9)全角变化率(狗腿严重度或井眼曲率):从井眼内的一个点到另一个点,井眼前进方向变化的角度(两点处井眼前进方向线之间的夹角)。该角度既反映了井斜角度的变化又反映了方位角度的变化,通常称为全角变化值。两点间的全角变化值 γ 相对于两点间井眼长度 ΔL 变化的快慢即为全角变化率 K ,用公式表达如下:

$$K = \frac{\gamma}{\Delta L} \quad (1.3)$$

实际钻井中,井眼曲率的计算方法:目前,计算井眼曲率的方法有很多。有公式法、查表法、图解法、查图法和尺算法五种。后四种办法皆来源于公式法。计算井眼曲率的公式有三套。

第一套公式:对于一个测点,即

$$K = \sqrt{K_\alpha^2 + K_\phi^2 \sin^2 \alpha} \quad (1.4)$$

对于一个测段,即

$$K = \sqrt{\left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\phi}{\Delta L}\right)^2 \sin^2 \alpha_c} \quad (1.5)$$

第一套公式的图解法,如图 1.8 所示。

- ① 作水平射线 OA ;
- ② 作 $\angle BOA = \alpha_c$ (两测点平均井斜角);

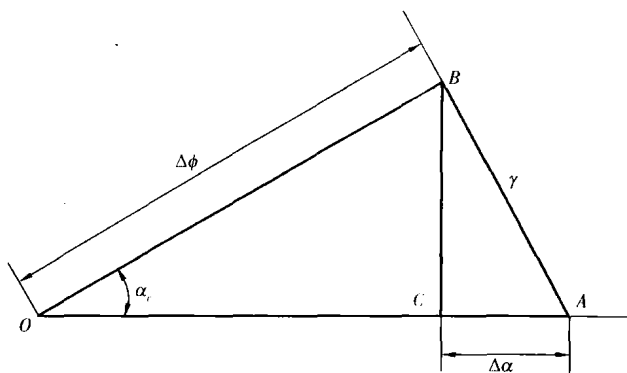


图 1.8 第一套公式的图解法

- ③ 以一定长度代表单位角度,量 $OB = \Delta\phi$ (两测点方位角差);
- ④ 自 B 点向 OA 作垂线,垂足为 C 点;
- ⑤ 按步骤 ③ 中的比例,量 $CA = \Delta\alpha$;
- ⑥ 连接 A, B ,并量 AB 长度,按步骤 ③ 比例换算成角度,此角度即狗腿角 γ 。

第二套公式,由于误差较大,现场使用少,略。

第三套公式:

$$\gamma = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 - 2\alpha_1\alpha_2\cos\Delta\phi} \quad (1.6)$$

第三套公式图解法,如图 1.9 所示。

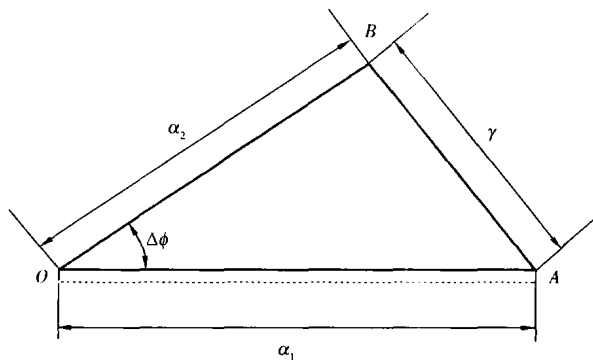


图 1.9 第三套公式的图解法

- ① 选取一定比例,经一定长度代表单位角度,作线段 OA ,使其长度代表 α_1 ;
- ② 作 OB 线段,使 $\angle BOA = \Delta\phi$;
- ③ 按步骤 ① 的比例量 $OB = \alpha_2$;
- ④ 连接 A, B ,并量 AB 的长度,按步骤 ① 的比例换算成角度,即为 γ 。

(10) 垂深(垂直井深):某测点的垂直深度,以 H 表示,是指井身任意一点至转盘面所在平面的距离。

(11) 水平投影长度:是指自井口至测点的井眼长度在水平面上的投影长度,以 S 表示。

(12) 水平位移:简称平移,是指测点到井口垂线的距离。在国外又称为闭合距(Closure Distance)。

(13) 平移方位角: 又称为闭合方位角 (Closure Azimuth), 常用 θ 表示, 是指以正北方位线为始边顺时针方向转至平移方位线上所转过的角度。

(14) 视平移: 又称为投影位移, 井身上的某点在垂直投影面上的水平位移。在实际定向井钻井过程中, 这个投影面选在设计方位线上。所以视平移也可以定义为水平位移在设计线上的投影。

(15) 高边: 在斜井段用一个垂直于井眼轴线的平面于井眼 (这时的井眼不能理解为一条线, 而是一个具有一定直径的圆) 相交, 由于井眼是倾斜的, 故井眼在该平面上有一个最高点, 最高点与井眼圆心所形成的直线即为井眼的高边。

(16) 工具面: 工具面就是造斜工具弯曲方向的平面。

(17) 磁性工具面角: 造斜工具弯曲的平面与正北方位所在平面的夹角。

(18) 高边工具面角: 造斜工具弯曲方向的平面与井斜方位角所在平面的夹角。

(19) 装置角: 造斜工具弯曲方向的平面与原井斜方向所在平面的夹角, 通常用 ω 表示。

(20) 反扭矩: 在用井底动力钻具钻进时, 都存在一个与钻头转动方向相反的扭矩, 该扭矩被称为反扭矩。

(21) 反扭角: 使用井底动力钻具钻进时, 都存在一个与钻头转动方向相反的扭矩, 由于该扭矩的作用, 使得井底钻具外壳向逆时针方向转动一个角度, 该角度被称为反扭角。

(22) 设计入口角度: 进入储层顶部的井斜角度。

(23) 着陆点: 井眼轨迹中井斜角达到水平段设计井斜角的点。

(24) 入口窗口高度: 入靶点垂直方向上下误差之和。

(25) 入口窗口宽度: 入靶点水平方向左右误差之和。

(26) 出口窗口高度: 出靶点垂直方向上下误差之和。

(27) 出口窗口宽度: 出靶点水平方向左右误差之和。

(28) 着陆点允许水平偏差: 着陆点允许水平方向前后的误差。

水平井各段名称, 如图 1.10 所示。

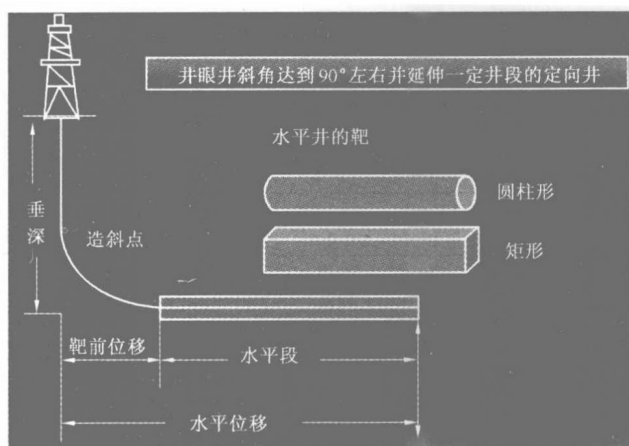


图 1.10 水平井各段名称示意图

3. 描述水平井的几个常用术语

(1) 入靶点: 地质设计规定的目标起始点。

(2) 终止点: 地质设计规定的目标结束点。

- (3)靶前位移:入靶点的水平位移。
- (4)水平段长:入靶点与终止点之间的轨道长度。
- (5)水平段有效长度:指实钻水平段保持在靶区内的累计长度。
- (6)水平段有效比值:指水平段有效长度与水平段总长之比。

4. 类型和特点

目前,水平井主要有长曲率半径、中曲率半径、短曲率半径三类水平井基本类型,如图 1.11 所示。

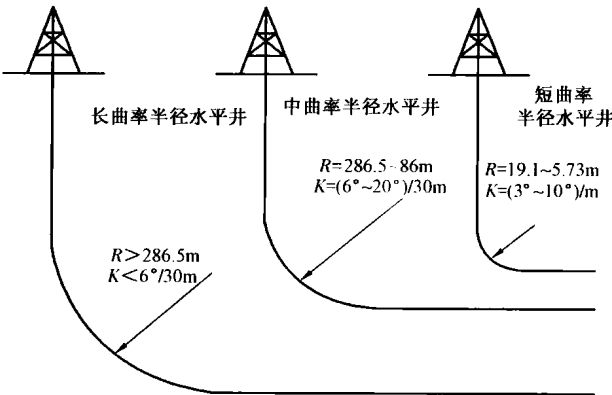


图 1.11 水平井基本类型

(1)长曲率半径水平井的优缺点见表 1.4。

表 1.4 长曲率半径水平井的优缺点

优 点	缺 点
1. 穿透油层段最长(可以大于 1000m); 2. 使用标准的钻具及套管; 3. “狗腿严重度”最小; 4. 使用常规钻井设备; 5. 可使用多种完井方法; 6. 可采用多种举升采油工艺; 7. 测井及取心方便; 8. 井眼及工具尺寸不受限制	1. 井眼轨道控制段最长; 2. 全井斜深增加最多; 3. 钻井费用增加; 4. 各种下部钻具组合较长; 5. 不适合薄油层和浅油层; 6. 转盘扭矩较大; 7. 套管用量最大; 8. 穿过油层长度与总水平位移比最小

(2)中曲率半径水平井的优缺点见表 1.5。

表 1.5 中曲率半径水平井的优缺点

优 点	缺 点
1. 进入油层时无效井段较短; 2. 使用的井下工具接近常规工具; 3. 使用动力钻具或导向钻井系统; 4. 离构造控制点较近; 5. 可使用常规的套构及完井方法;	1. 要求使用 MWD 测量系统; 2. 要求使用加重钻杆或抗压缩钻杆