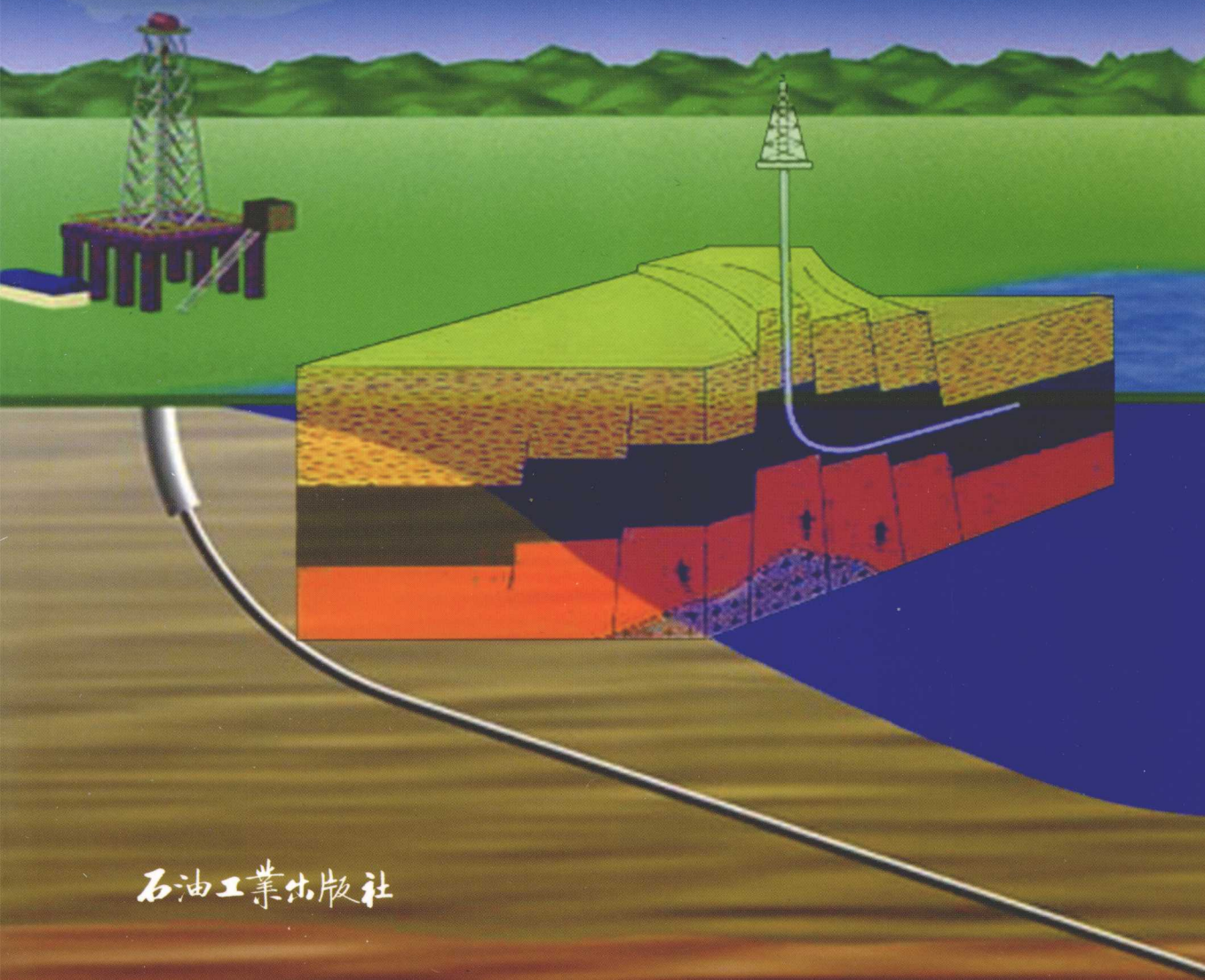




水平井 油田开发技术文集

王元基 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书精选了中国石油学会石油工程专业委员会 2010 年召开的“水平井在油田开发中的应用及研究”学术研讨会录用的论文 104 篇,涵盖了水平井基础机理研究、产能评价、油藏工程设计、钻井工艺、地质导向、完井技术、增产措施、举升工艺、测试技术、注水技术、作业维护以及应用实例等内容,较全面地反映了我国水平井技术的应用水平和主要进展,对我国水平井开发油气具有借鉴和指导意义。

本书可供从事钻井工程、油气田开发工作的科研人员与高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水平井油田开发技术文集/王元基主编.

北京:石油工业出版社,2010.5

ISBN 978-7-5021-7764-5

I. 水…

II. 王…

III. 水平井-油田开发-文集

IV. TE243-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 071063 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

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 39.5

字数: 1000 千字 印数: 1—1800 册

定价: 90.00 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

《水平井油田开发技术文集》

编 委 会

主 编：王元基

副主编：张 勇 孙福街 俞 凯

编 委：胡海燕 罗 伟 郑洪印 黄石岩 朱国金

王连刚 唐 磊

前 言

水平井以其能够有效提高单井产量、降低开发成本、增加经济效益等显著优势成为油气田开发的先进技术之一，备受世界各大石油公司青睐。自 1928 年第一口真正意义上的应用于石油工业的水平井问世至今，已有 80 余年的历史，期间经历了起步、缓慢发展、兴起和规模应用等发展阶段。最近 15 年，水平井技术发展尤为迅速，呈现出勃勃生机。截至 1996 年底，全世界共钻水平井仅 3000 多口，而到 2000 年底就达到了 24000 口，2008 年底突破了 50000 口，预计到 2010 年底，水平井数量将超过 60000 口。

1965 年，麓-3 井在四川成功完钻，拉开了我国应用水平井开发油气田的序幕，使中国成为较早应用水平井的国家之一。但是，直到 20 世纪 80 年代末至 90 年代初，水平井才得到真正发展。进入 21 世纪以来，尤其是 2005 年以后，我国水平井应用空前广泛，方兴未艾。2000 年底我国仅有水平井 400 余口，2005 年底已达到 1300 多口，到 2009 年底则超过 5900 口，是 10 年前的 14 倍。水平井类型也日趋多样化，除常规水平井外，还出现了鱼骨井、阶梯井、分支井、双水平井等。钻井工艺进展迅速，不断向极限挑战。目前国内最浅水平井垂深不到 200m，最深水平井垂深超过 6200m，最大位移井水垂比为 3.92，最多鱼骨达 20 支。水平井已广泛应用于稠油油藏、边底水油藏、裂缝性油气藏、复杂断块油藏、潜山油藏等，取得了较好的开发效果。2009 年，我国水平井年产原油超过了 $1500 \times 10^4 \text{ t}$ 。同时还开展了高含水老油田、特低渗透油藏、致密气藏和煤层气等非常规油气资源水平井开采攻关试验，以进一步拓宽水平井的应用领域。

随着水平井的大规模应用，水平井布井、钻井完井、储层导向、分段改造、剖面测试与调整，以及数据信息管理等技术不断发展创新。为总结近几年的研究成果和实践经验，了解水平井的应用潜力和发展趋势，促进我国水平井技术的应用和发展，中国石油学会石油工程专业委员会组织召开了“水平井在油田开发中的应用及研究”学术研讨会。会议得到了中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司三大石油公司相关单位和有关高等院校的积极响应，专业技术人员踊跃投稿，共收到论文 290 篇，经专家审核，

筛选出 104 篇结集成册，公开出版发行，并从中优选 35 篇论文进行会议宣读和交流。这些论文涵盖了基础机理研究、产能评价、油藏工程设计、钻井工艺、地质导向、完井技术、增产措施、举升工艺、测试技术、注水技术、作业维护及应用实例分析等，较全面地反映了我国水平井技术的应用现状、技术水平和主要进展。相信本次研讨会的召开和文集的出版，将会对我国水平井技术的发展大有裨益，并对进一步加大水平井在油气田开发中的推广应用起到积极地促进作用。

中国石油学会石油工程专业委员会

2010 年 5 月

目 录

油 藏 工 程

水平井关键地质点确定技术的探讨及应用	栾永乐	田野 (3)
胜利油田压裂水平井地质设计技术研究	郭迎春 牛祥玉 贾艳平	李超 (8)
箱式低渗透油藏水平井渗流物理模拟研究	沈瑞 胡志明 熊伟	高树生 (13)
油藏数值模拟中确定水平井生产压差方法	詹盛云 朱国金 王星 孙福街 张金庆 王小林	(18)
稠油油藏水平井非稳态产能预测新模型	吴林刚 汤云浦 程林松	李秀生 (23)
低渗透油藏压裂水平井井网产能研究	方甲中 曾保全 程林松	李秀生 (29)
渤海某油田水平井产量分析.....	朱国金 皮建 孙福街 王星 马奎前	邱凌 (38)
基于 PEBI 网络的压裂水平井模拟方法	纵封臣 王星 齐桃	李伟超 (47)
箱形断层油藏水平井产能评价方法研究	罗银富 朱国金 王星 田冀	(51)
特低渗透油藏压裂水平井产能评价方法研究	郝明强 胡永乐 李凡华 王晓冬	(58)
低渗透葡萄油油田水平井产量预测技术	关鹏举 王秋实 谢成靛 王欣	(65)
特低渗油藏水平井产能评价及影响因素研究	新文奇 党永潮 杨轶锐 何奉朋	(69)
利用水平井技术优化潜山裂缝性油藏开发方案研究	郑旭 赵春明 张迎春 雷源	(76)
水平井在低渗薄油藏的优化设计与增产技术		苏崇华 (80)
复杂断块油藏曲流河砂岩体水平井设计参数优化技术	朱文春 蔡明俊 刘广华 刘民	(86)
超重油油藏水平井泡沫油冷采开发优化研究	陈亚强 李星民 陈和平 贾芬淑	(91)
厄瓜多尔 Tarapoa 区块低幅度边底水油田高含水期水平井优化设计与实施	李剑 陈和平 林金逞 赵新军	(98)
低渗透油藏水平井井网优化设计	王博 孟浩 谢启超 王进 刘正伟	(105)
不同类型油藏水平井优化设计研究	丁一萍 李江龙	(111)
松滋油田红花套组低渗透厚层底水油藏水平井优化设计与实践	雷乐 聂光华	(117)
薄层水平井在乐安油田超稠油油藏的优化设计与注采参数优化研究	赵凯 肖淑明 郭志华 张国勇	(124)
边底水稠油油藏水平井优化设计研究	叶小川 徐伟 孟庆丽 范荣菊	(129)
滩坝砂油藏水平井开发井网优化研究	魏东兰 阳仿勇 谷建伟 蔡星	(133)
胜利海上边际油田鱼骨状分支水平井整体开发研究	任金才 周英杰 杜玉山 田同辉	(139)
鱼骨状分支水平井井型设计及注采配置优化研究	张世明 戴涛 宋勇 许强	(145)

边底水油藏利用水平井提高采收率的实践与认识

.....	刘桂玲	廖光明	罗南	屈红	(154)		
断块油藏水平井注采井网优化设计研究与应用	唐湘明		杨鹏	马宏	(159)		
风城油田重 32 井区水平井注汽吞吐参数优化技术研究							
.....	马哲斌	刘江林	龙东	刘名	(166)		
水平井压力分布对产能和井网部署的影响	钱根宝	彭永灿	孔垂显	刘建	(173)		
底水油藏水平井见水模式及见水特征研究	牛刚	刘欣颖	程林松	李秀生	(177)		
海上水驱砂岩油藏水平井动态规律研究	朱义东	刘伟新	张伟	林瑶	(183)		
哈得油田薄砂层双台阶水平井开发效果评价	左超	蒋仁裕	孙军	鲜波	(191)		
海上砂岩油田水平井注采井网开发效果评价	张彩旗	刘玉娟	李其正	刘超	(194)		
边底水油田水平井出水类型评价及控水对策	张鹏	万小迅	杨庆红	李廷礼	(199)		
高含水油田水平井开发评价效果方法及挖潜适应性分析							
.....	王锦芳	谢雯	田杰	韩艳丽	(204)		
国外水平井技术及在油气开发中的应用研究							
.....	江怀友	康平达	李宁	邹文娇	江良冀	齐仁理	(210)
水平井在疏松砂岩底水油藏整体开发中的成功应用	陈维华	宁玉萍	刘伟新				(220)
水平井在海上低阻低丰度复杂组分气藏的开发应用	成涛	何巍	杨柳				(226)
河流相边底水稠油油藏水平井挖潜技术研究	葛丽珍	苏彦春	房立文	李庭礼			(233)
水平分支井在海上南堡 35-2 油田的应用分析	张凤义	黄凯	黄颖辉				(240)
水平井在砂砾岩—潜山复合油藏中的应用	焦红梅	王星	汪巍	李燕			(243)
利用水平井技术提高油田开发效果——以绥中 36-1 油田 C 区为例							
.....	翟广福	李其正	杨静	曾建			(248)
稠油底水油藏不同含水阶段水平井生产策略	房立文	赵春明	葛丽珍	卢国军			(255)
水平井在带油环边水气藏开发中的应用	马时刚	张迎春	王惠芝	汪利兵			(261)
利用水平井进行海上生物礁油田的整体开发	税敏	刘伟新	宁玉萍	薛怀艳			(266)
浅层稠油水平井开发中存在问题及对策	陈兵	苏宏益	李刚	陈珂			(274)
水平井在巨厚潜山油藏开发中的应用	徐萍	许宁	邱林				(280)
北汉庄油田垛一段边底水稠油油藏水平井开发技术的应用	蔡楠松	刘长利					(286)
SN 气田火山岩气藏水平井的应用研究	焦里力	刘长利	沈阿平				(292)
宝浪油田宝中区块宝气平 1 井开发部署研究							
.....	王涛	梁杰锋	李娜	叶欢	陈密		(298)
孤东油田水平井综合治理技术应用	孙楠	张友振	徐耀玲	石晓东			(304)
整装油藏厚油层顶部水平井整体精细开发提高采收率研究——以孤岛油田中二中 Ng5 为例							
.....	李琴	陈德坡	陈瑞	宋勇			(309)
水平井注水开发技术研究综述					解曙巍		(316)
水平井在永 7 断块细分层系开发调整中的应用			张建宁	龚建萍			(323)
超深侧钻短半径水平井技术在塔河缝洞型油藏开发中的应用							
.....	李新华	靳佩	罗发强				(332)
水平井在塔河油田三叠系油藏开发中的应用	张志强	盛海波	先伟				(336)

应用特殊结构水平井开发透镜状薄层底水油藏——以陆梁油田陆9井区呼图壁河组 K_1h_3

油藏为例	韩力	李海涛	(342)
不同类型油气藏水平井的应用研究	高小翠	王锦芳	李凡华 孙强 (346)
水平井在建南低渗透碳酸盐岩气藏中的应用	曾勇	刘周杰	沈童 (352)
水平井技术在陆相砂岩稠油油田早期开发调整中的应用	安桂荣	陈鹏	罗玉凌 (360)

钻采工艺

水平井钻井技术难点分析与优化设计	杨衍云	邱秀坤	闫振来 (367)
埕海油田大位移水平井钻探技术	董德仁	单桂栋	张乃彤 于成水 刘在桐 (374)
薄层水平井井眼控制技术与应用	李建东	周洪林	马小明 吴刚 (381)
大位移水平井井眼侧向力与钻具事故分析研究	窦同伟	周洪林	党博 李英素 (385)
中原柔性钻井技术难题分析	李杰	王甲昌	彭彬 翟芳芳 (391)
大倾角潜山裂缝油藏水平井钻井轨道设计技术研究	田野	吴广民	(396)
硅基阳离子钻井液在高8-33-平1Z鱼骨井的应用	郭鸿	云海涛	张春祥 (400)
河口油区疏松砂岩油藏侧钻水平井完井配套工艺研究与应用	邵现振	郑书通	姚俊涛 唐林 (405)
底水油藏水平井控水完井优化设计方法	李海涛	王永清	蒲丽萍 谢兵 (411)
水平井变密度射孔完井模型优化设计理论研究	李华	陈德春	李茂 刘双琪 (420)
塔里木深层油藏水平井分段完井工艺优化技术与应用	杨淑珍	刘举	周建平 王发清 (429)
水平井不同完井方式应用界限分析	张国辉	陈荣	李海涛 吕照鹏 (435)
水平井筛管分段完井技术与应用	余金陵	王绍先	彭志刚 魏新芳 (441)
浅层稠油水平井“杆脱”原因及应对措施研究	苏宏益	李刚	伏凤杰 陈兵 (447)
水平井智能分段开采技术研究与应用	贺冬	谢小辉	李仁忠 (452)
陈家庄南区薄层稠油油藏水平井配套工艺的研究与应用	朱建英	郑书通	田小存 朱学东 (457)
胜利油田水平井分段完井采油工艺技术与应用	张峰	吕芳蕾	吕玮 宋相隆 (464)
蒸汽吞吐水平井均衡注汽技术	杜永欣	李啸南	栾智勇 逯国成 李淑兰 (469)
高温调堵技术在提高浅层稠油水平井水平段动用程度上的探索与实践	黄伟强	吕其军	郑爱萍 付志 (474)
水平井化学分段堵水技术	李瑞	龙华	马昌明 杜艳 (479)
水平井中后期调剖助排技术研究与应用	潘建华	马威	(484)
射孔完井水平井机械分层找堵水工艺技术探讨	王庆莲	齐笛	朱璐璐 焦辰玉 (490)
塔河油田碎屑岩油藏水平井化学深部堵水技术的研究与应用	刘广燕	杨建清	吴文明 何龙 (494)
应用自转向酸提高肯基亚克盐下水平井单井产量	蒋卫东	邓金根	王青华 杨立新 (500)
筛管完井水平井酸洗工艺的改进及应用	张友振	(507)	

水平井分段改造技术在塔中碳酸盐岩油气藏开发中的应用

.....	彭建新	朱绕云	程兴生	黄龙藏	(510)	
水力喷射分段压裂技术在油气井压裂中的应用 ...	李根生	曲海	黄中伟	田守增	(518)	
长井段连续射孔水平井投球压裂工艺技术	刘国华	王倩	张丽娜	罗炯	(523)	
大庆葡萄花储层水平井压裂裂缝形态研究与认识				王文军	(531)	
水平井分段压裂施工出现的问题及技术对策				刘兆权	(537)	
水平井分段压裂裂缝参数优化设计研究	王孟江	李学义	魏媛茜	肖俊杰	(541)	
水力喷射压裂技术在低渗气田水平井的研究及试验	李宪文	张矿生	陈亮	周长静	(549)	
胜利油田低渗透水平井完井及分段压裂技术	杨同玉	刘红磊	肖春金	张军峰	郁登朗	(554)
射孔参数对水平井压裂起裂压力影响研究				虞建业	沈飞	(561)

其 他

利用地震属性分析描述隔夹层技术在水平井优化设计中的应用

.....	张雷	李拴豹	黄凯	刘小鸿	(569)
微地震技术在浅层稠油水平井蒸汽推进前缘监测中的研究及应用	彭通曙	郑爱萍	吕其军	梁向进	(573)
稠油开发水平井生产测井技术应用	李志远	贾胜彬	王德全	郑书东	(579)
边界识别技术在水平井高效开发中的应用	刘维永	陈建波	赵斌	王传军	(584)
水平井井下温压测试技术				孙建平	(590)
水平井井温资料在注汽设计中的应用	马红	李成芹		王淑梅	(594)
稠油热力开采水平井测试工艺技术研究	马明			刘付臣	(599)
稠油水平井同心管射流负压冲砂技术研究与应用	王嘉淮	谢斌	骆向杰	余杰	(603)
RMRS 仪器工作原理及在煤层气水平连通井中的应用	杨宏斌	杨力	邵焕彬	王彦祺	(608)
多分支水平井在沁水盆地南部煤层气开发中的应用	左银卿	孟庆春	周睿	魏强	(614)

油 藏 工 程

水平井关键地质点确定技术的探讨及应用

栾永乐 田野

(中国石油大庆油田有限责任公司采油工程研究院)

摘 要: 在水平井设计中, 准确掌握着陆点和造斜后钻遇断层的深度对于钻进中控制着陆与预防井漏事故的发生具有重要的意义。在水平井着陆点和断点的求取过程中, 由于所涉及轨道和地层的几何关系复杂, 一个方程中的两个变量同时发生变化, 因此在确定着陆点和断点深度存在一定的难度。本文把水平井着陆点及断点的确定各分为 2 种类型, 建立了相应的 4 种数学模型, 并以大庆油田水平井芳 26-平 70 井钻井地质设计为例, 对水平井钻井地质设计中遇到的着陆点和断点深度确定进行了探讨, 为水平井钻井地质设计提供了技术参考。

关键词: 水平井 着陆点 断点

1 概述

水平井是指井斜角不小于 86° 并在目的层中维持一定长度的水平段的定向井^[1]。近年来, 大庆油田针对大庆外围油田油层薄、层多等特点, 采用新技术, 提高了薄层水平井的实施效果, 从已投产的水平井产量来看, 平均单井日产原油达到 20t, 是直井的 3~6 倍, 为大庆外围薄层、低丰度边际储量的有效开发开辟了一条新路。2008 年大庆油田新钻水平井 70 多口, 而水平井地质设计中的关键参数设计对水平井钻井有着非常重要的指导作用。以芳 26-平 70 井为例 (见图 1), 针对在钻井地质设计中遇到着陆点和断点深度确定的技术问题, 给出了相应的解决办法。

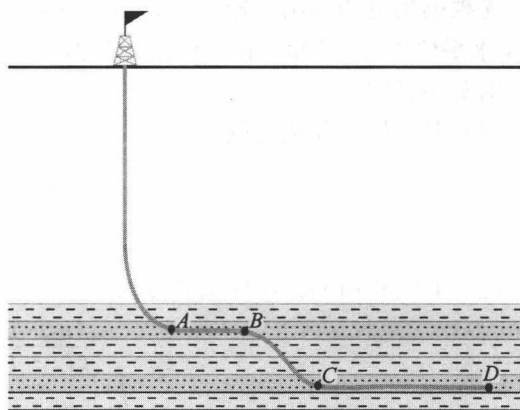


图 1 水平井示意图

2 构造概况

芳 26-平 70 井位于松辽盆地中央坳陷区三肇凹陷宋芳屯鼻状构造的东翼斜坡上, 水平井的工区为一个被断层切割形成的小断块, 整体构造形态北高南低, 较平缓。工区内断层较发育, 主要为南北向展布, 延伸长度较短, 断距较大且均为正断层。芳 26-平 70 井的目的层是 PI_2 和 PI_3 。葡一组顶面微幅度构造呈由西北向东南倾的单斜特征 (见图 2)。水平段地层视倾角为 $0.69^\circ \sim 1.27^\circ$, 网格方位为 90.00° , 设计水平段水平位移为 674.80m, 完钻垂深为 1511.14m。

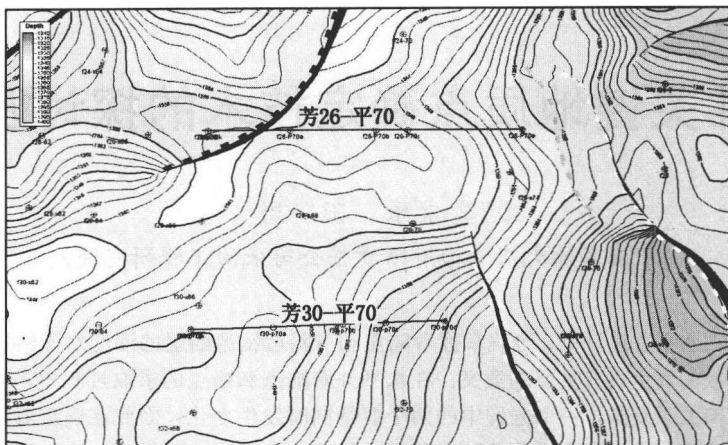


图2 芳26-平70井葡萄花油层顶面构造图

3 着陆点确定

着陆点是指钻头钻至目的层砂岩顶面的位置^[2]。钻头由上覆岩层进入目的层，由于岩性的变化，无论是随钻测井还是岩屑录井在着陆点前后都有明显的显示，所以着陆点位置的确定对着陆控制非常重要。该点的垂深和水平位移满足轨道方程，求取过程如下。

3.1 模型的建立

先根据构造图求出入靶点A所在小层顶深度 h_1 和A点处小层顶面地层视角 θ ，入靶点A水平位移 L_1 已知，在剖面设计数据表（由软件计算直接输出）中的某一点的水平位移 L_2 ，有如下情况。

(1) 井眼轨道与地层倾向一致时（见图3），则有以下式：

$$\frac{(h_1 - h_2)}{(L_1 - L_2)} = \tan \theta \quad (1)$$

$$h_2 = h_1 - (L_1 - L_2) \tan \theta \quad (2)$$

(2) 井眼轨道与地层倾向相反时（见图4），则有以下式：

$$\frac{(h_2 - h_1)}{(L_1 - L_2)} = \tan \theta \quad (3)$$

$$h_2 = h_1 + (L_1 - L_2) \tan \theta \quad (4)$$

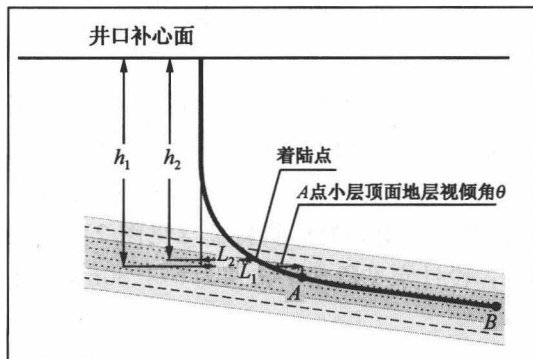


图3 水平井着陆点示意图一

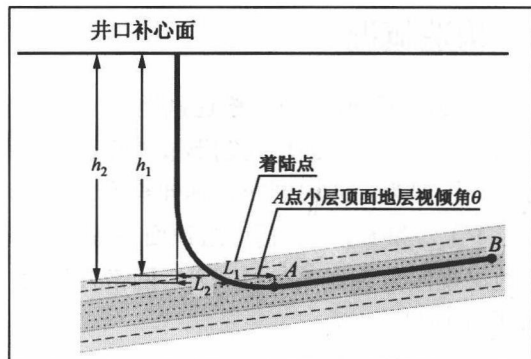


图4 水平井着陆点示意图二

当在剖面设计数据表中取某点水平位移 L_2 时, 该点在数据表上的垂深与计算的 h_2 一致时, 则 h_2 即为所求的着陆点的垂深。

3.2 着陆点求取

芳 26-平 70 井设计轨道符合第一种模式, 把已知参数和设计轨道数据表中 (软件输出) 水平位移 (闭合距) 代入式 (2), 求出相应的井深 (垂深) 和 h_2 , h_2 与实际垂深一致时, 该点就是所求的点。(211.50m, 1497.99m) 就是所求的着陆点 (见表 1)。

表 1 芳 26-平 70 井轨道

站点	测深 (m)	井斜 (°)	网格方位 (°)	垂深 (m)	北 (m)	东 (m)	视平移 (m)	闭合距 (m)	闭合方位 (°)	狗腿度 [(°)/30m]
685	1605.94	84.00	90.00	1497.74	0.00	209.01	209.01	209.01	90.00	8.00
686	1606.44	84.13	90.00	1497.79	0.00	209.50	209.50	209.50	90.00	8.00
687	1606.94	84.27	90.00	1497.84	0.00	210.00	210.00	210.00	90.00	8.00
688	1607.44	84.40	90.00	1497.89	0.00	210.50	210.50	210.50	90.00	8.00
689	1607.94	84.53	90.00	1497.94	0.00	211.00	211.00	211.00	90.00	8.00
690	1608.44	84.67	90.00	1497.99	0.00	211.50	211.50	211.50	90.00	8.00
691	1608.94	84.80	90.00	1498.03	0.00	211.99	211.99	211.99	90.00	8.00
692	1609.44	84.93	90.00	1498.08	0.00	212.49	212.49	212.49	90.00	8.00
693	1609.94	85.07	90.00	1498.12	0.00	212.99	212.99	212.99	90.00	8.00
694	1610.44	85.20	90.00	1498.16	0.00	213.49	213.49	213.49	90.00	8.00

4 断点确定

准确预测断点对钻井施工预防井漏等复杂事故的发生具有重要的意义。水平井在直井段钻遇断层按常规方法就能确定断点, 设计中常常遇到在造斜后到着陆前钻遇断层的情况。以往在设计中只是提示在造斜后将钻遇断层, 没有给出具体深度, 而理论上可以准确确定断点的深度, 该点的垂深和水平位移是满足井眼轨道方程的^[3], 断点确定步骤如下。

4.1 模型的建立

在油层顶面构造图上, 在井口与入靶点的连线上首先量出断点与井口的水平位移 L_4 , 断层的视倾角 α (大庆地区取 45° , 也可在油层顶面微幅构造图上可以求出), 对应该点的油层顶深为 h_3 。

(1) 当设计井眼轨道与所遇断层相反方向倾斜时 (见图 5), 轨道与断层交点垂深为 h , 有:

$$h_4 = h_3 - h \tag{5}$$

$$L = h_4 / \text{tg}\alpha \tag{6}$$

$$L_3 = L_4 + (h_3 - h) \text{tg}\alpha \tag{7}$$

$$h = h_3 - (L_3 - L_4) \text{tg}\alpha \tag{8}$$

当在剖面设计数据表中取水平位移 L_3 求出垂深 h , 数值与数据表中一致时, 该点就是所求的点。

(2) 当井眼设计井眼轨道与所遇断层同向方向倾斜时 (图 6), 轨道与断层交点垂深为 h , 有:

$$h_4 = h_3 - h \tag{9}$$

$$L = h_4 / \text{tg}\alpha \tag{10}$$

$$L_3 = L_4 - (h_3 - h) \text{tg}\alpha \tag{11}$$

$$h = h_3 + (L_3 - L_4) \text{tg}\alpha \tag{12}$$

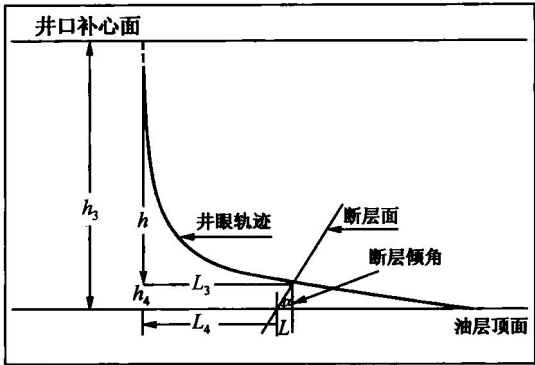


图 5 水平井断点深度确定示意图一

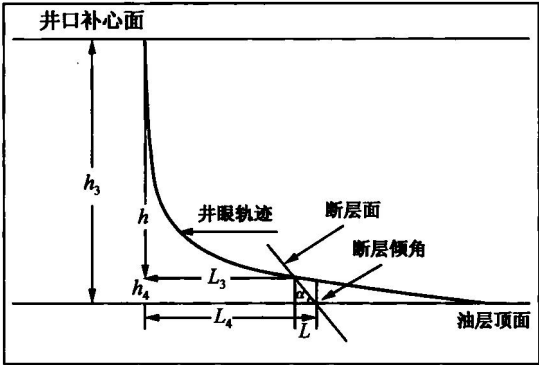


图 6 水平井断点深度确定示意图二

在剖面设计数据表中取水平位移 (闭合距) L_4 时, 井垂深 h 与表中一致, 则 h 即为所求断点的垂深。

4.2 断点求取

如芳 26 - 平 70 井, 断层和井眼轨道满足第一种模式, 把已知参数和轨道设计数据表中靶点的水平位移代入式 (8), 求出的垂深 h 与数据表中一致, 则该点就是所求的断点 (见表 2), (183.38m, 1493.58m) 是该井所求的断点。

表 2 芳 26 - 平 70 井轨道数据表

站点	测深 (m)	井斜 (°)	网格方位 (°)	垂深 (m)	北 (m)	东 (m)	视平移 (m)	闭合距 (m)	闭合方位 (°)	狗腿度 (°/30m)
630	1578.44	76.67	90.00	1493.13	0.00	181.92	181.92	181.92	90.00	8.00
631	1578.94	76.80	90.00	1493.24	0.00	182.40	182.40	182.40	90.00	8.00
632	1579.44	76.93	90.00	1493.35	0.00	182.89	182.89	182.89	90.00	8.00
633	1579.94	77.07	90.00	1493.47	0.00	183.38	183.38	183.38	90.00	8.00
634	1580.44	77.20	90.00	1493.58	0.00	183.86	183.86	183.86	90.00	8.00
635	1580.94	77.33	90.00	1493.69	0.00	184.35	184.35	184.35	90.00	8.00
636	1581.44	77.47	90.00	1493.80	0.00	184.84	184.84	184.84	90.00	8.00
637	1581.94	77.60	90.00	1493.90	0.00	185.33	185.33	185.33	90.00	8.00
638	1582.44	77.73	90.00	1494.01	0.00	185.82	185.82	185.82	90.00	8.00
639	1582.94	77.87	90.00	1494.12	0.00	186.31	186.31	186.31	90.00	8.00

5 结论

- (1) 利用着陆点的垂深及水平位移满足井眼轨道方程, 可以准确确定着陆点深度;
- (2) 应用求取着陆点的模型可以求取任一标志点;
- (3) 水平井所钻遇的任意断点均满足井眼轨道方程。

参 考 文 献

- [1] 张绍槐. 多分支井钻井完井技术新进展 [J]. 石油钻采工艺, 2001, (2) .
- [2] 刘霞, 等. 调整井地区水平井钻井地质设计技术 [J]. 采油工程, 2003, (4) .
- [3] 刘波, 等. 砂体顶面微构造对水平井轨迹设计的影响研究 [J]. 中国科学技术大学学报, 2004, 34 (5) .

胜利油田压裂水平井地质设计技术研究

郭迎春 牛祥玉 贾艳平 李 超

(中国石化胜利油田分公司地质科学研究院)

摘 要: 压裂水平井技术是开发低渗透油藏的优势技术,地质设计是压裂水平井成功的基础。通过数值模拟和油藏工程方法,对水平井与地层应力方向的配置、裂缝间距、裂缝长度和裂缝导流能力进行了优化。结果表明,压裂水平井应垂直于地层最大主应力,合理的裂缝间距为极限控油半径的2倍,无因次裂缝长度为0.6左右,不同的储层渗透率具有与之匹配的最佳裂缝导流能力。现场应用压裂水平井8口,日产油均在10t以上,为相邻直井的2倍以上。

关键词: 低渗透油藏 压裂水平井 优化设计 裂缝间距 裂缝导流能力

胜利油田是国内应用水平井最早、技术发展最快的油田之一,水平井广泛应用于底水油藏、屋脊断块油藏、稠油油藏、地层不整合油藏、整装油藏等多种类型油藏中,已经形成成熟的地质设计配套技术^[1]。在低渗透油藏中对应用水平井也进行了一些有益的探索,但由于胜利油田低渗透油藏天然裂缝不发育,水平井钻遇裂缝的机会少,常规水平井产能递减快,采出程度普遍较低,经济有效动用难度较大,总体开发效果不理想。近年来在低渗透油藏水平井压裂工艺技术上已取得了突破性的进展,在加拿大、美国部分油田已形成了规模应用,国内大庆、辽河、吉林等油田也取得了较好的应用效果。胜利油田针对低渗透多层油藏砂体个数多、油层薄、储量丰度低的特点,采用分段压裂水平井技术,在水平段上产生垂直裂缝,将不同深度的不同产层连接起来^[2],有效提高了水平井控制的储量和产能,同时形成了压裂水平井地质优化设计技术。

1 区块适应性筛选

在低渗透油藏中设计水平井必须符合一定的油藏地质条件,同时还要立足于目标区,全面评价应用水平井开发的经济技术指标是否优于直井在同期内的经济技术指标。在压裂选井中,应重点考虑两个方面的问题:一是油层的可采储量,它是压裂后提高产量的物质基础;二是地层的能量,它是影响压裂成败及有效期的关键。

通过调研国内外低渗透油藏水平井开发技术现状,结合胜利油田常规低渗透油藏水平井筛选条件,制定了压裂水平井的油藏地质筛选条件:①水平段所在目的层单层含油砂岩厚度一般要求大于4m,保证水平段轨迹具有一定的摆动余地;②储层的渗透率大于1mD;③油层压力应在原始地层压力的0.5倍以上,保证储层具有一定的驱替能量;④直井具有产能或压裂后可正常生产;⑤目标区具有一定的经济可采储量(大于 1×10^4 t可作为参考值)。

2 压裂水平井数值模拟技术

2.1 压裂裂缝描述技术

2.1.1 网格系统划分技术

压裂后裂缝渗透率远大于地层渗透率,但裂缝宽度一般只有0.002~0.005m。如果将实