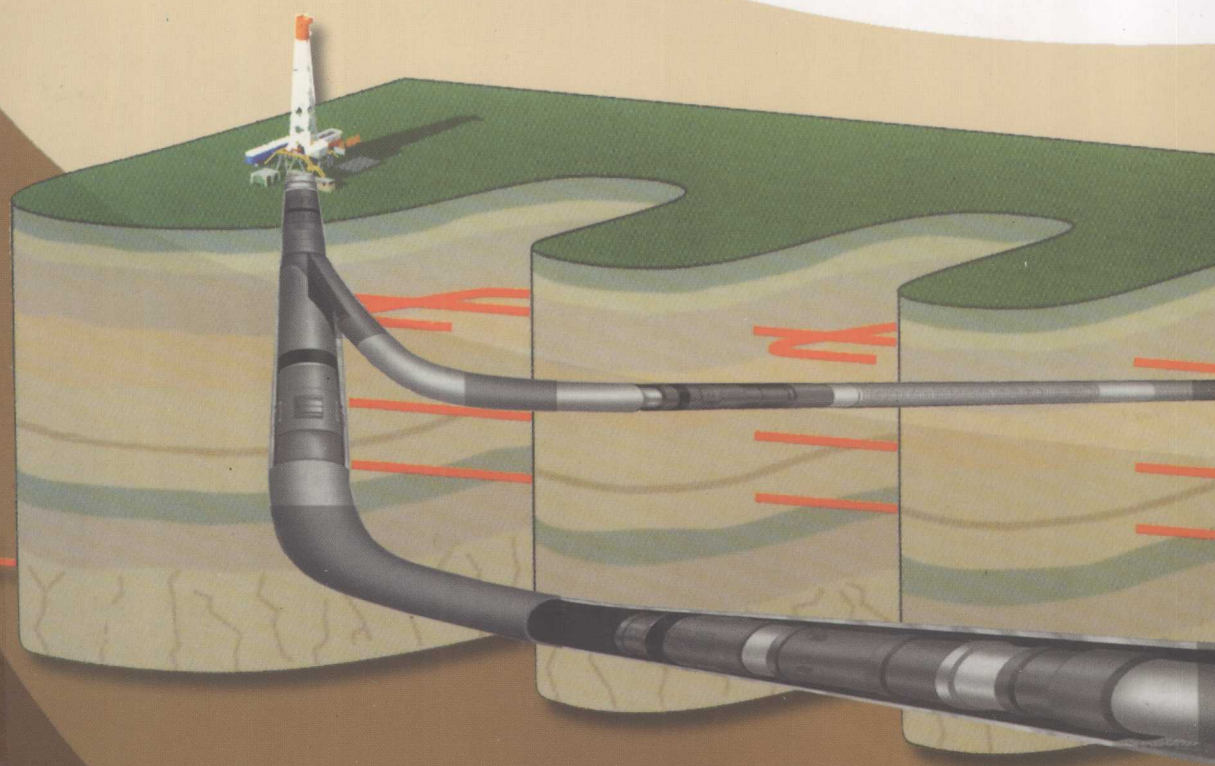


中国石油学会石油工程学会 编



复杂结构井开采技术文集



石油工业出版社

复杂结构井开采技术文集

中国石油学会石油工程学会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本文集精选了中国石油学会石油工程学会 2003 年召开的“复杂结构井开发及应用技术研讨会”的 33 篇宣读论文。这些论文从不同侧面总结了复杂结构井开采不同类型油气田的油藏地质研究、开采方案设计、建井工程技术和增产技术措施,以及典型实例,分为油藏工程、钻井与完井工程、开采工艺和增产措施四部分。

本书可供油气田开发系统的工程技术人员和现场操作人员参考,也可供有关院校、科研院所有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂结构井开采技术文集/中国石油学会石油工程学会编.
北京:石油工业出版社,2003.12
ISBN 7-5021-4500-1

I. 复…

II. 中…

III. 复杂地层-采油井-石油开采-学术会议-文集

IV. TE35-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 111746 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

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:河北省欣航测绘院印刷厂印刷

2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15.25

字数:350 千字 印数:1—1000 册

书号:ISBN 7-5021-4500-1/TE·3154

定价:50.00 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

《复杂结构井开采技术文集》

编 委 会

主 任：闫存章

副主任：袁士义 吴 奇

委 员：戴 靖 张正卿 岳登台 王元基 李松泉

魏顶民 闻玉贵 禹长安 徐正顺 赵平起

程林松 常学军 魏兆胜 宋公仆

前 言

复杂结构井开采油气田是提高单井产量、增加经济效益和降低成本的先进技术之一。20 世纪 80 年代，复杂结构井在美国、加拿大、法国等国家和地区得到了广泛的应用；在 90 年代，该项技术得到迅猛发展和进一步的完善；到上世纪末，全世界仅水平井就已达 24000 多口。

我国复杂结构井技术从引进到消化吸收，目前已经发展到规模应用阶段。水平井开采工艺在底水油藏、稠油油藏、薄油层得到了成功的应用，取得良好的经济效益；在气藏、裂缝性油藏、低渗透油藏、高含水油藏等不同类型的油气藏中也见到了比较好的效果。

自中国石油、中国石化和中国海洋石油三大石油公司相继上市以来，国内油气开发业务面临着降低操作成本、提高经济效益的严峻挑战，同时这也为复杂结构井开采新技术的推广应用创造了良好的发展机遇。为了进一步推广这项技术在油气田开发中的应用，中国石油学会石油工程学会和北京石油学会 2003 年联合召开了“复杂结构井开发及应用技术研讨会”。会议得到广大石油科技工作者的积极响应，收到论文 71 篇，这些论文涵盖了研究成果、应用实例和国外技术调研等方面的内容，全面、高水平地反映了我国复杂结构井的技术现状和应用水平。因此，中国石油学会石油工程学会和北京石油学会决定将会上宣读的 33 篇论文汇集出版。希望本文集对有关石油工程技术人员和石油院校师生有参考价值，对复杂结构井技术的应用和发展可以起到指导和借鉴作用。

本书的出版得到了中国石油股份有限责任公司勘探生产分公司的大力支持，在此，谨向这些单位和编审专家以及论文作者表示诚挚的谢意。

目 录

油 藏 工 程

胜利油区水平井地质及油藏工程设计技术	李 新	王建勇	郭迎春	赵永杰 (3)	
高含水开发后期复杂断块油藏水平井设计技术研究及效果	牛栓文	王洪宝	王书宝	赵晓燕 (9)	
大港油田应用水平井油藏适应性分析	刘爱荣	刘天鹤	窦松江	贾玉梅 (16)	
水平井技术在冀东油田的应用	周海民	常学军	穆立华	廖保方	郝建明 (22)
利用水平井或分支井挖潜厚油层剩余油的探讨				卫秀芬 (28)	
多学科方法在优化薄油层水平井地质设计及现场导向中的应用	刘云燕	金久玲	宋 静	袁 勇 (34)	
复杂结构井产能预测理论研究及应用	刘乃震	易发新	祝金利	李 伟	赵国英 (41)
利用适应陆相沉积地质跟踪导向技术提高复杂结构井开发效果	易发新	李 伟	段宪余	胡 广	赵国英 (51)
大庆老区厚油层水平井注入水“脊进”问题及对策	刘 波	孙光胜	刘 振 (56)		
水平井水淹动态及其影响因素探讨	江同文	周代余	冯积累	卞万江 (61)	
测试技术在复杂结构生产井中的初步应用	钟兴福	谢荣华	张爱霞	张德辉 (69)	

钻 井 与 完 井 工 程

彩南油田径向侧钻技术研究与应用	李兴训	尹东迎	刘国良	杨俊涛 (83)	
胜利油田复杂结构井完井及采油技术研究与应用	郝金克	张全胜	冯存章	李玉宝 (90)	
苏里格气田水平井钻井与完井技术及应用	巨满成	陈志勇	欧阳勇	(99)	
侧钻小井眼水平井完井技术	刘艳红	张 恒	吴小明	徐凌云 (104)	
新疆莫北油气田随钻跟踪地质目标水平井钻井技术研究与应用	徐显广	张文波	陈 平	夏宏泉	石晓兵 (109)
新型井身结构及膨胀管技术			何育荣	余金陵	(118)
多分支水平井完井系统及其应用	窦宏恩	雷小强	凌芬芹		(130)

开 采 工 艺

高能裂缝性底水油藏枯竭式开采过程中水平井的生产管理与含水控制	何 帆	丁 亮	汪政德	王正才 (139)
用水平井挖掘临二块馆二段和馆三 ³ 亚段底水油藏剩余油	田树全	邵运堂	伍泰荣	赵迎军 (148)

超深超薄油藏水平井开采技术

.....	宋文杰	朱卫红	牛玉杰	昌伦杰	杨成新	李东亮	(157)
低渗透、低丰度、超薄油层水平井开采试验研究		沈宝明	朱秀峰	姬生柱	张宝忠		(165)
长庆特低渗透油藏水平井开发探讨	史成恩	熊维亮	赵继勇	朱圣举			(170)
利用侧钻水平井经济有效开发薄层稠油油藏技术研究	李 伟	邢玉德	祝金利	范志军	段宪余		(179)
利用复杂结构井开采低渗高凝油油藏	刘乃震	李 伟	祝金利	李 爽	朱新佳		(184)
水平井技术在辽河油田超稠油热采中的应用				马 凤	白国斌		(190)
侧钻水平井技术在高吞吐周期稠油油藏开发中的应用				刘文龙	蔺玉秋		(198)
浅层稠油斜直水平井开采技术			彭顺龙	窦升军	齐敦苏		(205)

增产措施

长庆低渗透油气田水平井改造工艺技术及认识

.....	雷 群	赵振峰	陆红军	刘建安	(213)
斜井压裂工艺措施及方法	曾雨辰	陈小新	池圣平		(218)
浅析大位移井和水平井大修的冲砂及打捞技术					
.....	白福明	王新河	兰润生	卢世庆	潘 林 (222)
利用水平井改善塔里木老油田开发效果					
.....	孙龙德	江同文	伍轶鸣	练章贵	范颂文 (228)

油 藏 工 程

胜利油区水平井地质及油藏工程设计技术^{*}

李 新 王建勇 郭迎春 赵永杰

(胜利油田有限公司地质科学研究院)

摘 要 胜利油区水平井技术经历了两个发展阶段,实现了水平井设计理念的 3 个转移,建立完善了 5 项水平井地质及油藏工程设计配套技术。本文通过对水平井在各类油藏中适应性的分析,论述了不同类型油藏水平井的设计关键。

一、前 言

水平井是通过扩大油层泄油面积提高油井产量、提高油田开发经济效益的一项重要技术。水平井最早出现于美国,但直到 20 世纪 80 年代才开始大规模工业化推广应用,目前全世界已完钻水平井 2 万余口,主要分布于美国、加拿大、前苏联等 69 个国家。

我国早在 20 世纪 60 年代就在四川碳酸盐岩中尝试钻成了磨 3 井和巴 24 井(采气)2 口水平井,但限于当时的技术水平,未取得应有的效益。直到 1988 年,水平井开发技术才又重新兴起,首先在南海完钻 LH11-1-6 水平井,并相继在胜利、新疆、辽河等油田开展攻关进而推广应用。胜利油区是我国水平井技术发展最快、应用规模最大的油区,水平井数量占全国的 80.5%,在生产实践中初步形成了一套比较成熟的水平井地质及油藏工程设计技术。截至 2003 年 8 月,胜利油田已累积钻水平井(含侧钻水平井)372 口,累积产油 $436.8 \times 10^4 \text{t}$,取得了良好的挖潜增油效果。

二、胜利油区水平井技术现状

(一) 水平井发展历程

胜利油区于 1990 年在水平油田完钻第一口科学试验水平井——埕科 1 井,该井的成功标志着胜利油田水平井从室内研究阶段走向现场实施阶段,经过“八五”技术攻关和“九五”期间不断推广应用,水平井技术不断提高,作为老油田挖潜和新区产能建设的重要技术手段发挥着越来越重要的作用。经过十几年的试验及实际应用,胜利油区水平井的发展前景已得到充分体现,在油田“增储上产”中的作用越来越明显,进入“九五”以来,每年以增加 $(5 \sim 10) \times 10^4 \text{t}$ 产油能力的速度增长。纵观胜利油田水平井的发展,可划分为两个阶段。

1. 第一阶段(1991—1994 年)

科技攻关试验阶段,应用范围主要在乐安油田稠油砂砾岩油藏,针对稠油热采的特点逐

^{*} 本篇论文在 2003 年中国石油学会石油工程学会“复杂结构井开发及应用技术研讨会”上被评为一等奖。

渐形成一套从油藏类型筛选、精细描述剩余油分布、水平井轨迹优化设计到钻井采油工艺比较成熟的水平井配套技术。该阶段每年设计并完钻水平井约 5~8 口, 年产油 $(5\sim 8) \times 10^4 \text{t}$ 。

2. 第二阶段 (1995 年—目前)

大规模推广应用阶段, 水平井设计从单一的稠油油藏推广到常规原油物性的各类油藏, 从老油田挖潜转向新区产能建设和老区调整共同发展, 2002 年全年完钻水平井 60 口, 2003 年 8 个月完钻水平井 74 口。随着水平井涉及的油藏类型的增多和实践经验的积累, 水平井设计的方法和程序以及配套技术得以不断完善, 为水平井技术的进一步发展打下了坚实的基础。

(二) 水平井设计理念的转移

胜利油田在水平井的发展过程中, 不断探索创新, 逐步实现了水平井设计理念的 3 个转移: 第一个转移是水平井油藏类型的转移, 20 世纪 90 年代初期, 胜利油田水平井主要位于稠油油藏, 进入“九五”以后, 水平井向多油藏类型发展, 由稠油油藏向常规油藏中的边、底水断块油藏、裂缝性油藏、整装高含水油藏、地层不整合油藏等类型发展, 水平井在老油田挖潜增效、提高采收率中起到了巨大的作用。该转移的实现大大拓展了水平井设计及应用的范围。

第二个转移是在常规油藏设计中, 由单井设计转向老油田区块的整体水平井改造, 并同时兼顾了老油田挖潜和新区产能建设。如临盘油田临 2 块整体改造方案和营 93 块用 3 口水平井代替 9 口直井的产能建设方案都取得了良好效果。

第三个转移是随着钻井技术尤其是地质导向技术的发展, 水平井设计由从 6m 以上的厚油层向 3m 以下的薄油层、薄互层转移。在厚油层水平井筛选阵地越来越少的情况下, 薄油层水平井的成功为我们打开了一片新领域。

经过 10 多年的应用和发展, 基本实现了水平井地质设计、钻井轨迹设计、跟踪分析的计算机化, 为水平井的发展提供了良好的技术支撑。

三、水平井地质及油藏工程设计技术

胜利油田通过十几年水平井技术的发展, 逐步建立完善了下列 5 项水平井地质及油藏工程设计配套主导技术。

(一) 水平井区块适应性筛选评价技术

1. 油藏地质条件

胜利油田常规非热采油藏适宜水平井的地质条件是:

- (1) 油藏深度为 0~4000m (稠油 < 1500m);
- (2) 油气层厚度大于 2m (稠油 10~20m);
- (3) 参数 $h \times (k_h/k_v)^{1/2}$ 小于 100, 该参数一是限制油层厚度不能太大; 二是要求垂直接渗透率不能太小;
- (4) 参数 $k \times h$ 大于 $60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$, 该参数要求地层系数要高, 限制渗透率不能太低;
- (5) 泄油面积不能太小, 水平井区可采储量 $\geq 0.8 \times 10^4 \text{t}$;
- (6) 直井千米井深日产油 $\geq 2.5 \text{t/d}$;
- (7) 油层压力/原始压力 ≥ 0.5 。

2. 油藏类型适应性筛选

胜利油区油藏类型众多,但并非所有的油田或区块都适宜于打水平井,必须符合一定的地质和油藏条件。根据水平井油藏工程原理,考虑我国目前水平井技术条件,结合胜利油区油藏类型特征及国外的成功经验,认为在胜利油区以下几种油藏类型中适合打水平井:裂缝性油气藏,边、底水断块油藏,稠油砂砾岩油藏,整装高含水油藏,地层较陡的层状油藏,低渗透油藏。

此外,侧钻水平井作为水平井的一种特殊类型,除了上述要求,还应对老井井况有所限制。要求老井套管良好,固井质量良好,开窗以上部位最好为泥岩等。

稠油油藏中进行水平井适应性筛选时还应考虑储层热物性参数等。

(二) 水平井区精细三维地质建模技术

精细三维地质建模技术是集水平井区块目标层精细构造描述技术、储层展布、层内夹层、平面物性分析技术、沉积相带描述技术、流体性质分析、已钻井生产状况分析技术等于一体的综合分析建模技术,目的是为下一步数值模拟和油藏工程研究剩余油分布奠定坚实的基础。这是水平井和侧钻水平井成功与否的基础。

实际工作中,对于不同类型油藏的三维地质模型建立,其侧重点有所不同。对于复杂断块油藏,重点是必须搞清构造断裂系统、断层与油气分布的关系等,落实构造高点;对于裂缝性潜山油藏,重点是要搞清裂缝的发育程度和分布特征,包括裂缝发育带、裂缝走向、裂缝倾向、裂缝密度及与断层和区域地应力的关系;对于构造比较简单的高渗透油藏,重点则是搞清储层内部结构和平面、纵向非均质性;而对于低渗透油藏,重点需要研究相对高渗带的分布、裂缝的发育和分布情况。只有把握住重点,所建立的三维地质模型才能够有较强的针对性,为研究剩余油分布和水平井、侧钻水平井优化设计打下良好的基础。

(三) 剩余油分布定量研究技术

定量描述剩余油分布,是准确设计水平井和侧钻水平井的关键。我们主要采用了生产动态综合分析方法和数值模拟方法对剩余油分布进行定量研究。尤其是在数值模拟过程中对重点水平井区进行了平面上和纵向上的网格细化,这样能够更加准确地描述剩余油。

(四) 水平井水平段优化技术

水平井、侧钻水平井优化设计技术主要解决水平井的水平段在油层中的轨迹,即重点解决水平井、侧钻水平井的开窗部位、靶前距、水平段在油层中的方位、水平段在油层中纵向上的位置以及水平段的长度等问题,并对油藏工程参数进行优化。研究过程中运用水平井模拟软件对多种条件、多个方案进行了优化分析。

(五) 水平井产能预测技术

水平井的产能评价是水平井优化设计的一项重要工作,通过不同条件下的产能评价,为地质设计提供依据。

该项技术运用渗流理论提出了不同条件下的产能评价方法,包括:稳态产能评价方法、拟稳态产能评价方法、不稳态产能评价方法和底水或气顶锥进时临界产量的计算方法。这些产能的评价方法适合于不同的生产时期。

上述水平井设计流程和5项配套技术为规范胜利油田水平井地质设计,提高水平井研究水平和质量起到了关键作用。正是由于有了这些技术的支持,才使我们具备了在不同油藏类型中设计各种形式水平井的能力。如根据砂体横向变化设计了第一口阶梯式双水平段水平井

——临 2—平 1 井；根据油层顶面起伏变化设计了第一口“拱形井”——临 2—平 5 井；根据断层延展变化设计了第一口“平面弧形三靶点水平井”——营 93—平 3 井，此外，在孤东设计了第一口海油陆采井；在草桥油田设计了我国第一个丛式水平井组——草南丛式水平井组等等，还完成了临 2 块、纯 56 块、纯 47 块和桩 1 块等 4 个区块的水平井整体改造方案和营 93 块新区水平井设计方案，均取得了很好的效果。

四、不同油藏类型水平井设计关键

（一）水平井油藏类型划分

胜利油区到目前为止共设计各类水平井 372 口，主要包括以下油藏类型。

（1）断块油藏：如临 2 块、纯 56 块、桩 1 块等，目前共完钻水平井 166 口，占胜利油田水平井总数的 44.6%。

（2）稠油油藏：如乐安稠油砂砾岩油藏、单家寺稠油油藏等，目前共完钻水平井 96 口，占水平井总数的 25.8%。

（3）整装高含水油藏：如孤东油田、胜坨油田、孤岛油田等，目前共完钻水平井 32 口，占水平井总数的 8.6%。

（4）裂缝性油藏：如草古 1 潜山油藏、商 741 火成岩、平南潜山油藏和郑 6 潜山油藏等，目前共完钻水平井 26 口，占水平井总数的 7%。

（5）构造岩性油藏：目前共完钻水平井 16 口，占水平井总数的 4.3%。

（6）低渗透油藏：目前共完钻水平井 13 口，占水平井总数的 3.5%。

（7）地层不整合油藏：如水平油田等，目前共完钻水平井 13 口，占水平井总数的 3.5%。

（8）薄油层、薄互层藏：目前共完钻水平井 10 口，占水平井总数的 2.7%。

可以看出，目前胜利油区水平井主要分布在断块油藏、整装高含水油藏、稠油砂砾岩和裂缝性油藏中。

（二）不同类型油藏水平井设计关键

1. 边、底水断块油藏

1) 地质特点

该类油藏一般含油面积较小，且多属于构造油藏，但具有活跃的边水或底水，地层能量充足，依靠天然能量开采。经过多年开发，含水较高（大于 90%），采出程度一般均在 25% 以上，个别区块达到 40% 以上，但压降较小，如临 2 块经过近 30 年开发，综合含水达到 95%，采出程度达到 30%，压降仅 0.5MPa，充分反映出天然能量充足的特征。该类油藏的另一个显著特点是直井井点高含水是由于底水锥进造成的，不论构造高部位或低部位，其井间均有可能为剩余油富集区，这一点已为水平井实践所证实。

2) 水平井设计关键

根据边、底水断块油藏的地质特点，水平井设计最关键的问题是必须搞清剩余油分布。在此基础上，水平井设计要考虑以下两点：第一，必须计算出水锥半径的大小，准确与否直接影响水平井的质量，因此设计时水平段的 A、B 靶点要避开水锥半径影响的区域，此外还应避开边水或注入水舌进影响的区域范围；第二，要充分利用层内隔夹层的存在抑制底水

锥进，减缓水平井含水上升速度。

2. 裂缝性油藏

1) 地质特点

该类油藏一般为特殊岩性油藏，如石灰岩潜山油藏、火成岩油藏等。其主要的地质特点是储层的渗流能力受裂缝发育程度的控制，同时受基质孔隙度的影响。裂缝发育程度受多重因素控制，既受断层活动影响，还受改造作用影响，因而具有极强的非均质性。这表现在裂缝分布不仅在纵向上很难确定有效储层，在平面上也较难把握裂缝的连通范围，同时受地应力的影响裂缝具有方向性，因此，在钻直井时经常可以打出高产井，也经常会在高产井的附近打出空井。

2) 水平井设计关键

裂缝性油藏描述的关键就是要搞清储层裂缝分布规律，包括主裂缝延伸方向、平面上裂缝连通关系、纵向上裂缝集中发育段以及裂缝充填程度等。为了保证水平井能够钻遇更多的裂缝，提高水平井的生产能力，水平段延伸方向应尽量与裂缝方向垂直。

3. 稠油砂砾岩油藏

稠油油田一般埋藏较浅，小于 1500m，原油性质较稠，流动性差，因此一般需要采取加热的方式降粘开采。

对于稠油油藏，采用水平井热采可以增大井筒与油层的接触面积，使注入并储存在油层内的热量增加，热损失减少，由此提高热利用率。

水平井设计时除考虑常规水平井的油藏条件外，还应考虑储层热物性参数的影响。

4. 整装高含水油藏

1) 地质特点

整装高含水油藏如孤东油田、孤岛油田、胜坨油田、埕东油田等多属于河流相沉积，储层埋藏较浅，具有高孔高渗的特点，除个别主力层外大部分油层厚度较薄。油田经过多年开发已进入特高含水开发后期，含水平均在 95% 以上，平面纵向水淹严重而且比较均匀。剩余油分布零散，根据取心检查井分析，层内剩余油主要分布于油层中上部（约 1/3 厚度内）。根据油藏描述结果，平面剩余油主要分布于断层附近、微构造高点及井网不完善区域，因此该类油藏水平井的筛选难度很大。

2) 水平井设计关键

该类油藏水平井设计最大的难点在于水平井位置的选择。首先要做好精细剩余油分布研究工作，准确描述剩余油分布，在此基础上应注意以下几点：第一，水平井应设计在厚度相对较大、含水较低的断层附近或微构造高点、井网不完善等剩余油较富集的区域；第二，要清楚认识水平井区域注水、采油情况，水平段方向要尽量避开注水主流线；第三，水平段在纵向上的位置应尽量靠近油层顶部；第四，水平段不宜过长（100~200m）；第五，应控制液量生产，抑制含水的上升。

5. 层状不整合油藏

该类油藏完钻井主要分布于水平油田，如水平 1 井等。油藏特点是地层倾角较陡，油层呈层状分布，水平井可以穿过较多的油层，从而发挥水平井少井高效的特点。

6. 低渗透油藏

低渗透油藏是指储层空气渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油藏。该类油藏的特点是埋藏深（一般大于 2000m），储层渗透性差，非均质性严重，油层导流能力差，地层能量较弱，提液

困难。

国外在低渗透油藏中已经完钻大量水平井，并且取得了较好的开采效果。目前我们油田在这类油藏中钻的水平井，由于地层能量不足，不能有效提液，没有取得水平井应有的效果。

五、水平井发展方向

胜利油田虽然在水平井技术方面居于我国前列，但与国外相比，还有较大的差距。近几年来，国外水平井技术又有了新的进展，在油田开发中显示出越来越广阔的前景，水平井技术的发展主要包括以下几个方面。

（一）分支水平井

现在国内掌握的水平井技术解决了一井一层的问题，但很多情况下需要在一口井中动用多个油层，或者在一口井中的主水平段上再侧钻出几个分支水平段，或者在一个直井段上向各个方向侧钻水平井，以进一步增大泄油面积。这是一项效益很高的技术，又是难度很大的技术。其主要技术难点有：已钻水平分枝井的保护和重入，各分支井完井管柱的联结、密封、固井质量，以及相应的采油、修井技术。

（二）大位移水平井

大位移水平井是指井的垂直距离与水平位移之比大于 1:2，这一类井主要用于开发滩海油田及海洋边缘油藏（利用已建平台）。该项技术的难点是：减少管柱与井壁的摩阻，携带岩屑，井眼稳定，及井眼轨道的测量精度和遥控技术。目前国外的大位移水平井最大水平位移达到了 8000m 以上。

（三）水平井注水或注蒸汽

利用水平井注水或蒸汽，可使油藏获得较大面积的高注入量，从而达到比直井快得多的注入和采油速度，提高油田开发效果。

参 考 文 献

[1] 万仁溥著，中国不同类型油藏水平井开采技术，北京：石油工业出版社，1997

高含水开发后期复杂断块油藏水平井 设计技术研究及效果^{*}

牛栓文 王洪宝 王书宝 赵晓燕

(胜利油田有限公司东辛采油厂地质研究所)

摘 要 针对复杂断块油藏高含水后期剩余油分布规律和控制因素,加强了水平井的研究和应用力度,形成了一整套水平井优化设计、跟踪评价及其配套技术,目前投产水平井 49 口,初期单井日产油 41.4t/d,是直井产量的 4 倍,单井新增可采储量 4.3×10^4 t,采收率提高 2.95%,税后内部收益率高达 76.2%,取得了很好的开发效果和经济效益。

一、前 言

1990 年,胜利油田以埕科 1 井为起点,开始了“八五”水平井钻井技术攻关,针对不整合油藏、稠油砾石油藏、底水油藏等多种不同类型油藏的水平井钻井技术进行试验研究,目前已形成了较为完善的一整套长、中半径水平井钻井技术和地质优化设计技术,为水平井的大范围推广应用奠定了基础^[1]。其中东辛油区水平井应用最为广泛,目前共投产水平井 49 口,初期单井日产油 41.4t,综合含水 25.63%,建成年产油能力 49.4×10^4 t,占东辛油区总产量的 16.7%,单元采收率提高 2.95%,税后内部收益率高达 76.2%,取得了很好的开发效果和经济效益。

二、高含水开发期剩余油分布规律及水平井适应性研究

(一) 高含水开发后期剩余油分布规律研究

多油层复杂断块进入高含水开发后期,层间剩余油主要分布在相对低渗透薄层,厚油层内底部水淹严重,剩余油主要分布在油层顶部。如永 12 断块,含油面积 2.8km^2 ,地质储量 1114×10^4 t,采收率 66.34%,综合含水 94.1%,主要含油层为沙二段下部 3 砂层组,有 8 个含油小层,其中沙二 3² 的 1 号和 3 号时间单元砂层厚度一般为 1~3m,水淹较轻,而其他 6 个时间单元砂体厚度为 15m 左右,油层底部严重水淹,剩余油饱和度一般小于 0.4,而顶部相对水淹较轻(见表 1)。

(二) 水平井适应性分析

复杂断块油藏进入高含水开发后期,利用水平井开发具有以下优势。

^{*} 本篇论文在 2003 年中国石油学会石油工程学会“复杂结构井开发及应用技术研讨会”上被评为一等奖。

表 1 永 12 块剩余油饱和度分级表

层位	时间单元	模拟层号	不同含油饱和度对应的网格数比例, %			
			<0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	>0.6
3 ¹	1	1	37.84	47.54	11.61	3.02
	1	2	97.51	2.49	0.00	0.00
3 ²	1	3	42.12	34.24	10.30	13.33
	2	4	65.57	28.34	3.98	2.11
	2	5	100.0	0.00	0.00	0.00
	3	6	78.44	15.61	5.95	0.00
3 ³	1	7	39.40	39.13	12.23	9.24
	1	8	89.35	5.48	2.58	2.58
	2	9	90.88	6.20	2.92	0.00
	2	10	99.18	0.82	0.00	0.00
3 ⁴	1	11	12.85	22.89	28.11	36.14
	1	12	39.25	11.21	22.90	26.64
	1	13	51.18	18.24	15.88	14.71
	2	14	42.31	13.08	23.08	21.54
	2	15	72.00	14.00	11.00	3.00
	2	16	94.87	1.28	1.28	2.56
合计			65.44	19.47	8.29	6.80

1. 水平井动用储量高

目前国际上流行的有两种泄油面积计算方法。一种是把水平井两端看做两个直井眼，直井泄油面积就以该块直井泄油面积计算，水平段的泄油面积相当于以直井的泄油面积的直径为宽度、水平段为长度的长方形；另一种方法是把水平井看做一椭圆，以 $L/2 + R_e$ 为长半轴，以 R_e 短半轴计算^[2]。通过两种方法平均，得到泄油面积公式为：

$$A = \pi R_e^2 + R_e L + \pi R_e L / 4 \tag{1}$$

式中 A ——水平井泄油面积， km^2 ；

R_e ——直井泄油半径， m ；

L ——水平段长度， m 。

根据式（1）计算，水平井与普通井相比，动用地质储量相对较高（见表 2），当水平段为 150m、直井泄油半径为 200m 时，水平井控制动用储量是直井的 6.43 倍。所以对于薄层来讲，利用水平井能够实现稀井高效开发的目的，极大的提高开发经济效益。

表 2 底水油藏水平井（水平段 = 150m）与直井储量控制程度统计表

直井泄油半径, m	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350
控制储量比	10.73	9.78	9.09	8.58	8.18	7.86	6.91	6.43	6.14	5.95	5.81

2. 生产压差小，有利于抑制底水锥进

在油井采油过程中，由于井筒周围产生压力降，使得底水油藏中会出现油水界面发生变