

水平井采油技术

SHUIPINGJING CAIYOU JISHU

陈仁保◎主编



海洋出版社

水平井采油技术

陈仁保 主编

海洋出版社

2012年·北京

内容简介

如何进一步提高水平井开发水平,改善油田的开发效果,提高最终采收率,有效控制水平井含水上升,延长水平井生产周期,是油田开发工作者面临的难题。

本书汇集了冀东等油田、北京石油勘探开发研究院的攻关试验成果,重点展示了水平井采油技术研究与应用的新工艺、新方法和新成果。这些将推动水平井采油技术的发展,为水平井高含水治理提供借鉴。

本书可供油田从事水平井开发相关工作人员交流使用。

图书在版编目(CIP)数据

水平井采油技术/陈仁保主编. —北京:海洋出版社,2012.12

ISBN 978-7-5027-8466-9

I. ①水… II. ①陈… III. ①水平井-石油开采 IV. ①TE355.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第308138号

责任编辑:高英安 森

责任印制:赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16

字数:380千字 定价:68.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《水平井采油技术》 编辑委员会

主 编：陈仁保

副主编：李良川 陈永生 倪 银

成 员：蓝钢华 李 勇 朱福金 姜增所 张立民 马会英
魏发林 牛增前 姬 智

前 言

水平井是指钻入储集层部分的井眼轨迹呈水平或近似水平状态的井。国外应用水平井来提高油气田采收率尝试在 20 世纪 20 年代就开始了,大规模应用在 20 世纪 80 年代至今。

国内应用水平井起始于 20 世纪 60 年代,大规模应用在 20 世纪末至今。水平井已成为国内提高油气产量和采收率、解决各类完井问题的重要手段。

2006 年,为了解决直井开发占总量 70% 左右的低渗特低渗油气储量遇到的“多井、低产、低效”问题,中国石油行业领导层提出了“转变发展模式”的战略,以大力推动水平井的规模应用,改善低渗储量的开发效果,提高储量动用程度,从此水平井在各种类型油气藏大规模应用。

冀东油田自 2002 年以来,规模应用水平井 324 口,涉及 5 种不同类型油藏,从常规水平井到侧钻水平井、大斜度水平井、鱼骨刺水平井等多种井型。该技术初期单井产量高、采油速度高、经济效益好。

2008 年以后,水平井含水上升快,水平井高含水问题严重制约了水平井的应用效果。由于国内外关于水平井控水方面的研究少,2008 年,在“水平井低渗透改造重大攻关项目”中增加了“水平井控水技术研究”的内容,由北京石油勘探开发研究院和冀东油田共同攻关,旨在技术研究的基础上,通过现场试验形成适用于冀东油田规模应用的水平井控水技术。

在对油藏充分认识的基础上,采用“防-治结合、堵-疏结合、区别对待、分类治理”的方法,研发并应用了从完井到后期治理的一系列控水技术,现场试验 183 井次,取得较好经济效益,为高含水水平井深化挖潜、进一步提高水平井开发效果,提高油田的采收率有重大意义。

本书共收集了 31 篇论文结集出版,重点展示了水平井控水方面的钻完井技术、油层保护技术、产液剖面测试技术、环空化学封隔技术、机械控水技术、产液剖面调整技术、二氧化碳吞吐技术等,可供从事水平井开采技术与管理人员参考。

本书的出版得到了论文作者、相关单位的大力支持,在此,谨向北京石油勘探开发研究院、编审专家及相关单位表示诚挚的谢意!

陈仁保
2012 年 10 月

目 次

水平井分段完井控水管柱研究与应用	张立民, 邱贻旺, 姜增所, 马艳, 李勇, 汤濛(1)
水平井环空化学封隔器材料的触变特性及其影响因素	杜政学, 刘玉章, 熊春明, 魏发林, 李宜坤(16)
水平井环空化学封隔器技术研究与应用	周燕, 陈仁保, 李良川, 魏发林, 强晓光, 杨小亮(22)
水平井选择性化学堵水技术研究及试验	陈仁保, 周燕, 李宜坤, 路海伟, 冯建松, 宁小勇(29)
水平井 CO ₂ 吞吐技术试验	朱福金, 马会英, 李国永, 冯建松, 汤濛, 石琼林, 薛建兴, 岳振江(36)
水平井二氧化碳吞吐室内膨胀实验研究	石琼林, 李勇, 冯建松, 杨小亮, 宁小勇, 任丽(44)
水平井吞吐后防 CO ₂ 腐蚀缓蚀剂的研究与应用	赵永刚, 陈勇, 陈召洋, 李佳慧, 王桂杰, 魏慧慧, 陈亮(53)
筛管完井水平井作业技术	宋颖智, 邱贻旺, 姜增所, 强晓光, 章求征, 祝志敏(57)
水平井完井管柱摩阻计算与仿真	张建忠, 王玲玲, 郝夏蓉, 强晓光, 蓝钢华(67)
水平井大修工艺技术浅析	王玲玲, 郝夏蓉, 张建忠, 胡慧莉, 王锐, 刘培军(74)
水平井中子氧活化找水技术	强晓光, 李良川, 姜增所, 宋颖智, 周燕(82)
水平井牵引器找水工艺技术的应用	杨小亮, 袁立平, 赵颖, 吴佐浩, 颜艺灿, 岳振江(92)
浅层油藏水平井含水上升分析及控水技术对策	马桂芝, 马会英, 孙占平, 李本维, 毕永斌, 章求征, 石琼林(98)
底水油藏水锥高度计算与水锥运动规律研究	周贤, 钱川川, 聂彬, 杜立红(108)
水平井调流控水筛管完井技术研究与应用	姜增所, 强晓光, 马艳, 邱贻旺, 宋颖智, 蓝钢华(114)
水平井完井技术现状及下步研究方向	马艳, 乔煊威, 邱贻旺, 强晓光, 薛建兴, 冯伟(124)
小井眼高难度选择性完井技术研究及应用	陈涛, 徐鹏, 王玥, 靳鹏菠, 陈晓菲(136)
侧钻膨胀管技术在完井中研究及应用	陈涛, 姬智, 徐鹏, 王玥, 陈晓菲, 王玲玲(143)
轮南油田 LN2-21-H1 井储层敏感性试验评价	陈鹏, 张芳, 汤敬飞, 张曙振, 张磊(149)
裂缝性储层降滤失机理研究	孙倩倩, 张凌筱, 王黎, 郭胜涛(157)

冀东南堡油田注水用黏土稳定剂的研究	
..... 陈永生,何水良,乔孟占,李健,董彦龙,王丽娟,董建国(164)	
高温延迟交联冻胶酸体系研究与应用	
..... 李军,贾红战,陈涛,姬智,李文杰,徐杏娟,党伟,孙伟,陈奇(171)	
南堡东营组储层有机缓速酸体系的研究与应用	
..... 胡彬彬,倪银,张强,乔孟占,魏慧慧,党光明,赵恩军,李建强(181)	
水平井压裂裂缝参数优化设计研究	张凌筱,郭胜涛,孙倩倩,王黎,徐立坤(187)
泥页岩储层压裂技术的实践与认识	
..... 张丽平,牛增前,党伟,卢秀峰,姬智,陈涛,王炳,高岑,周勋(193)	
泡沫酸洗技术在水平井的应用研究 ...	邱贻旺,马艳,强晓光,宋颖智,裴素安,王远征(204)
浅层疏松砂岩油藏酸化解堵新工艺	姬智,陈涛,李军,常青,王远征,王锐,申权(212)
低渗油藏压力恢复试井压力响应研究	
..... 刘同敬,姜宝益,刘睿,张新红,第五鹏祥,王建宁(218)	
稠油冷采高采收率的原因分析及探讨	张军涛,王瑞河,吴晓东,杨志(228)
页岩气储层应力敏感影响因素分析	杜立红,周贤(235)
一种改进的多孔介质示踪剂运移数学模型	刘同敬,刘睿,谢晓庆,张新红,周建(242)

水平井分段完井控水管柱 研究与应用

张立民¹, 邱贻旺¹, 姜增所¹, 马艳¹, 李勇², 汤濛²

(1. 中国石油冀东油田 钻采工艺研究院, 河北 唐山 063000; 2. 中国石油冀东油田 陆上作业区, 河北 唐山 063200)

摘要: 目前, 冀东油田在陆地浅层疏松砂岩已规模推广应用了水平井技术, 从而大大提高了单井产量, 但由于地层复杂, 水平井井眼轨迹控制难度大等原因, 造成水平井目的层油层渗透率、含油率情况变化大, 笼统非选择性完井技术对长井段水平井、井眼轨迹复杂水平井不适用; 为进一步提高水平井的产量, 减少后期措施费用, 延长水平井低含水采油期, 研究了不同类型水平井分段完井技术, 配套了分段完井井下工具和施工工艺, 进行了矿场试验和推广应用, 大大提高水平井开发的综合经济效益。

关键词: 水平井; 分段; 完井; 控水; 遇油/水膨胀封隔器

水平井开发技术已成为油气田开发中一项具有广阔前景和提高采收率的重要技术, 近年来在世界各油田中得到了越来越广泛的应用。冀东油田自 2002 年底在浅层油藏开始应用水平井开发, 2004 年后规模应用, 2007 年达到产量高峰, 取得了显著开发效果。截止 2010 年, 冀东油田规模应用水平井 387 口, 筛管完井 260 口, 其中分段筛管完井 160 口, 形成了独具特色的水平井筛管完井技术: 水平井油层顶部注水泥、裸眼封隔器分段筛管完井技术, 水平井油层专打、尾管悬挂、裸眼封隔器分段筛管完井技术, 侧钻水平井尾管悬挂、裸眼封隔器卡封分段筛管完井技术, 侧钻水平井尾管悬挂、油层顶注水泥、裸眼封隔器分段筛管完井技术。

水平井技术可以提高油层控制程度、动用程度, 降低产液强度, 抑制边底水突进, 防止油层出砂、堵塞。水平井主要分布在封闭油藏、底水油藏、气顶油藏、边水油藏, 底水气顶油藏^[1]。从冀东油田水平井完钻情况看, 井眼轨迹长度在 32 ~ 791 m 之间, 平均长度 160 m, 油层钻遇率 97%。

通过水平井优化研究, 最优水平段长度是当井筒内摩擦损失显著减少水平井产能时的长度, 将显著摩擦损失点定义为 20%, 即 $PE = 20\%$ 的产能。水平井段位置, 对于盒状封

作者简介: 张立民 (1967—) 男, 河北省卢龙人, 高级工程师; 1989 年毕业于大庆石油学院采油工程专业, 现任中国石油冀东油田钻采工艺研究院副院长。E-mail: zhanglm188@petrochina.com.cn

闭油藏,垂向渗透率和原油黏度对水平井的垂向最优位置影响较大;底水油藏水平井的最优垂向位置为 $H_w = 0.9$ 左右;气顶油藏水平井的最优垂向位置为 $H_w = 0.1$ 左右;对气顶底水油藏水平井最优垂向位置影响最大的因素是油水密度差与油气密度差;对于边水油藏,水平井的最优垂向位置在油层中部。

为提高水平井的产能和综合经济效益,在充分考虑最优长度和最佳位置的基础上,结合油井后期的非主力层接替,研究水平井分段完井技术^[2],并形成了水平井分段完井管柱4套:常规筛管+常规封隔器分段完井;常规筛管+遇油/遇水膨胀封隔器分段完井;调流控水筛管^[3]+常规封隔器分段完井;调流控水筛管+遇油/遇水膨胀封隔器^[4]分段完井。

1 水平井分段完井技术适应性

1.1 油藏适应性^[5]

1.1.1 (气顶) 底水油藏

在油田的实际生产中,气水锥进是一个非常严重的问题。气水锥进的主要原因之一是压力降落,气水锥进的趋势和密度差成反比,与黏度、生产压差成正比。若用直井开发底水油藏,要保持较高的极限产量就必然在井筒附近形成较大的压力降落,导致井筒周围气水严重锥进。所以,降低压力降落的唯一途径就是尽量减小压力降。减小压降的同时必然导致产油量下降。在产能方面,水平井技术可以弥补直井的不足,水平井的长度不受地层条件制约,水平井具有泄油面积大、生产压差小,并可以根据开发需求决定水平井的类型、水平段长度等。

1.1.2 断块油藏

断块油气藏含油层系多,单套层系不能全油田连片含油,不同区块含油层系不同,原油性质、油层产能和动态特点差异大等原因使勘探和开发的工作更加复杂和艰难。当采用直井开发时,井筒穿透油藏数量少,与油藏接触面积小,因而储量动用程度低,油田开发效果差。

水平井在油田开发中有许多优势,特别是对于断块油田的开发更显示出其优越性,它可穿透多层油藏,能起到“掏墙角”的特殊功能,储量动用程度高,水驱控制储量大,能改善开发效果,增加原油产量,提高单井和整个油田的经济效益。

1.1.3 薄互层油藏

薄互层油藏就是指的就是储层薄而且又和夹层间互沉积的油藏,油层在纵向剖面上分层性好,层数多。各单层厚度1~10 m,层状不等,层间差异较大,以边底水驱动为主。一口水平井可以开发多个层系,通过分采管柱,单井动用多个层系的储量,提高单井产量。

1.2 水平井分段应用井况

由于水平井井眼轨迹的特殊性,目的层物性差异大,增大了水平井完井的难度。

(1) 长井段水平井:笼统完井时,导致沿水平井筒高渗透区域入流速度快,低渗透区域入流速度慢,生产段供液不均,这种现象在底水或气顶油藏中极易诱发和加剧水锥进发

生,严重影响水平井开发效果。

(2) 气顶、边底水驱油藏:由于井下情况复杂,部分水平井的轨迹难以按照设计要求实现,导致水平井在目的层中钻进时,或接近气顶、或接近边底水,完井时就需要分段处理,以备后期不产液或高含水时,进行措施恢复油井产量。

(3) 薄互层油藏:利用水平井开发薄互层油藏,采用水平井分段完井,使用裸眼封隔器对各小层进行分隔,实现油井各层分采。

(4) 油层钻遇率低:对于油层钻遇率低的油层,在考虑不污染储层的情况下使用封隔器卡封分段,开发油层段。

1.3 水平井分段原则

水平井分段要以产液剖面均衡为目的,提高低渗层段的储量动用。

(1) 依据井眼轨迹、测井结果、油水关系、储层特征进行井段分段划分;

(2) 以主力层段、高渗层段为主要目标进行层段组合,避免主力层在同一段内存在矛盾;

(3) 尽可能以泥岩段、致密段、低渗段等天然隔层段为生产段单元分段界线;

(4) 各生产段不宜过短,避免增加管串下入难度,推荐段长 20 m 以上。

2 水平井分段完井理论研究

冀东油田水平井完井初期采用的参数沿整个水平段大都采用同一完井参数,即沿整个水平井筒筛管参数一样,没有实现针对具体油藏特征进行水平井完井参数分段优化设计,这导致沿水平井筒高渗透区域入流速度快,低渗透区域入流速度慢,这种现象在底水或气顶油藏中极易诱发和加剧水锥进的发生,严重影响了水平井的开发效果。因此,开展水平井分段组合完井参数优化设计研究,指导现场施工,实现沿整个水平井筒入流剖面尽可能均匀,达到稳油控水。

半解析模型^[6-7]是将油井分成若干小段,对每一段进行油藏渗流和井筒流动的耦合,然后通过迭代求得这一段油井的压力分布和流量分布,得到不同类型油藏水平井产量递减数据,从而得到整个油井的产能与产量递减曲线。

所模拟的油藏为盒状,几何尺寸:1 000 m × 1 000 m × 10 m,顶深 2 000 m,渗透率 $K_x = K_y = K_z = 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,流体黏度为 5 mPa · s,原油体积系数 1.2,套管内径 121.4 mm,完井管径 76 mm,生产压差为 1.0 MPa,水平井产能单位为 $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ 。

2.1 水平段打开程度与产能曲线

长度为 500 m 的水平井,在断块油藏和边底水油藏中产能表分别为表 1、表 2,产能曲线分别为图 1、图 2。

断块油藏和边底水油藏不同打开程度的产能变化曲线如图 1 和图 2 所示,从图中可以看出在不考虑后期堵水作业的前提下,水平井选择性完井段间隔距离越大,产量越高。如果完井段选择合适,即使较小的完井段也能够得到较高的产能。

表 1 断块油藏产能表 (t/d)

水平段打开程度/%	筛管分段	50 d	100 d	150 d	200 d	250 d	备注
100	1	61.2	47.7	40.1	34.7	30.6	水平段完全打开
80	2	61.5	47.9	40.2	34.8	30.7	水平段分两段, 每段 200 m, 两段之间 100 m
60	3	58.4	46.0	38.8	33.7	29.9	水平段分 3 段, 每段 100 m, 各段相隔 100 m
40	2	48.0	39.5	34.1	30.1	27.0	水平段分 2 段, 每段 100 m, 两段之间 100 m
20	1	25.8	22.5	20.6	19.1	17.8	水平段打开中间 1 段 100 m

表 2 边底水油藏产能表 (t/d)

水平段打开程度/%	筛管分段	50 d	100 d	150 d	200 d	250 d	备注
100	1	120	111.9	111.2	111	110.9	水平段完全打开
80	2	119	111.9	111.2	111	110.9	水平段分两段, 每段 200 m, 两段之间 100 m
60	3	115	108	107	107	107	水平段分 3 段, 每段 100 m, 各段相隔 100 m
40	2	99.1	94.5	94.2	93.95	93.92	水平段分 2 段, 每段 100 m, 两段之间 100 m
20	1	54.7	53.3	53.2	53	52.9	水平段打开中间 1 段 100 m

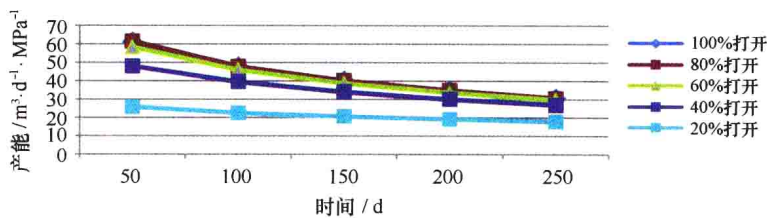


图 1 断块油藏不同打开程度综合对比图

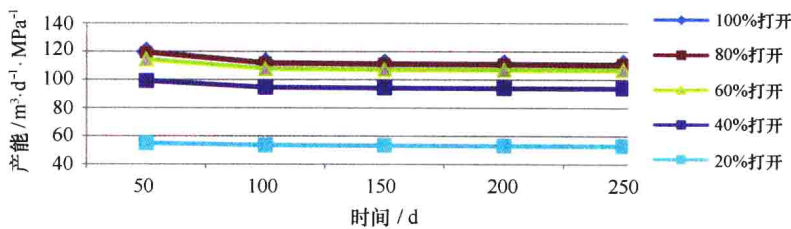


图 2 边底水油藏不同打开程度综合对比图

2.2 结论

利用半解析模型对水平井进行分段完井优化, 结果表明: 完井段长度相同的条件下, 沿水平段进行分散完井的效果最好, 且完井程度越高, 水平井产能越高, 但是产能的

增加幅度越小。

3 水平井分段筛管完井方式

冀东油田水平井筛管完井技术主要有以下几种：水平井油层顶部注水泥 + 裸眼封隔器分段筛管完井技术，水平井油层专打尾管悬挂 + 裸眼封隔器分段筛管完井技术，侧钻水平井尾管悬挂 + 裸眼封隔器卡封分段筛管完井技术，侧钻水平井尾管悬挂 + 油层顶注水泥 + 裸眼封隔器分段筛管完井技术。

3.1 常规水平井筛管完井技术

3.1.1 水平井油层顶部注水泥 + 裸眼封隔器分段筛管完井技术

以 7 in 油层套管为例（完井管柱示意图见图 3）：7 in 筛管 + 裸眼封隔器 + 顶部注水泥分段完井工艺主要应用在能量充足的浅层油藏常规水平井。在 8½in 井眼中采用 7 in 筛管完井，泄油面积大、降低了流动阻力，并为大排量举升方式的选择提供了空间；采用筛管完井避免了水泥固井对油层的污染，有助于降低表皮系数。

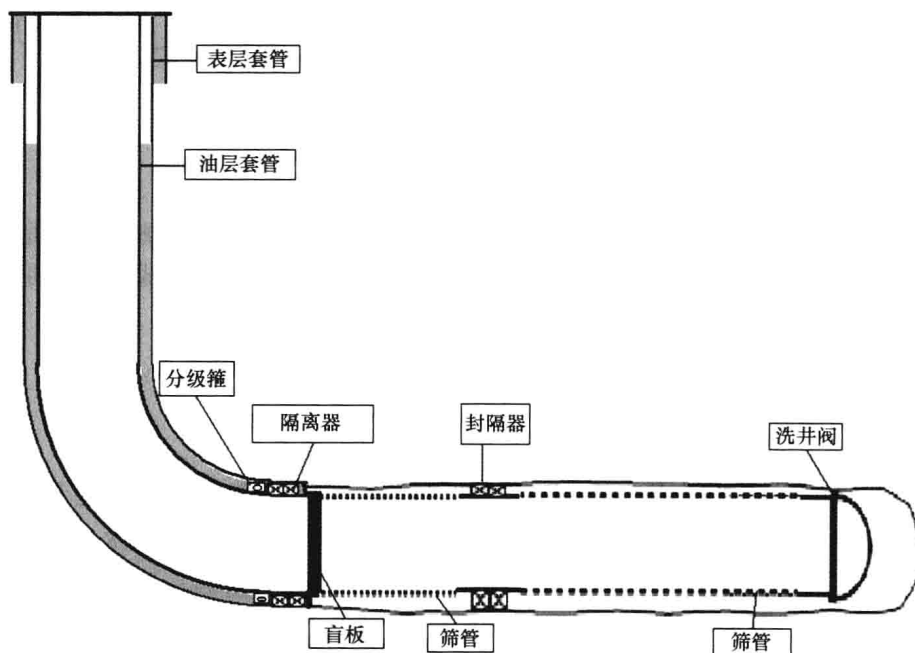


图 3 顶部注水泥筛管完井管柱图

截止到 2010 年底，该项完井技术在冀东油田浅层疏松砂岩油藏共实施 65 井次。

3.1.2 水平井无固相钻井液油层专打，尾管悬挂、裸眼封隔器分段筛管完井技术

为更好的保护油气层，达到长期高产高效开发的目的，2006 年以来，冀东油田开展了管外封隔器 + 悬挂滤砂筛管完井（完井管柱示意图见图 4）技术应用研究。即：先将技术套管下至油层顶部、固井，三开时利用无固相钻井液打开油气层，并钻开水平段，悬挂滤

砂筛管完井，同时，完井管柱结合使用遇油膨胀裸眼封隔器，降低油层污染程度的同时，也缩短了作业周期。

该完井方式不仅减少了工序且大大增强了对油层的保护，提高了水平井开发的效果。

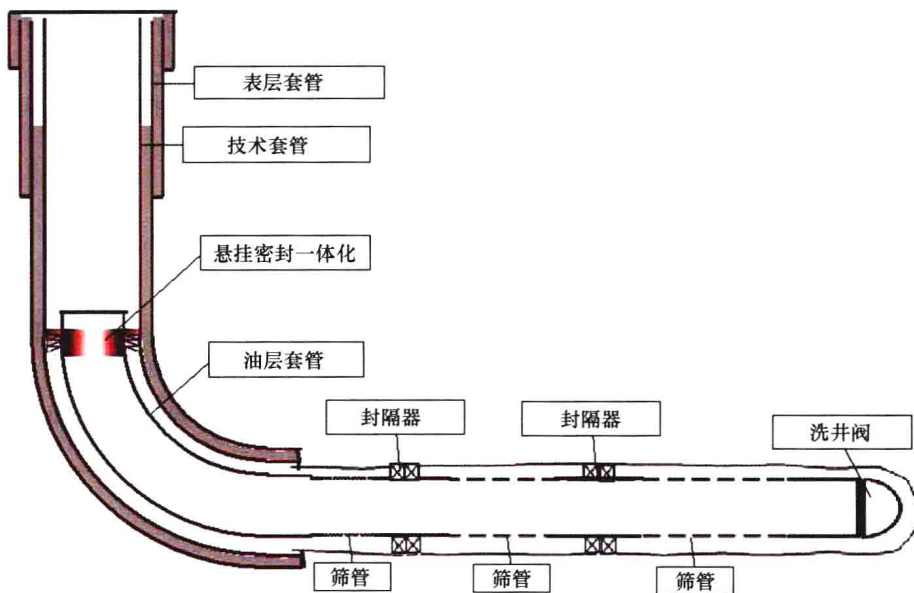


图4 悬挂筛管完井管柱图

该完井工艺具有以下优点：一是直井段井眼直径大，有利于后期侧钻；二是完井时洗井胀封管柱一次下入，施工时间短；三是无钻水泥塞工序，减少作业成本；四是上部套管大，有利于电泵举升。

截止 2010 年底此种方式共完井 60 口。

3.2 侧钻水平井完井技术

3.2.1 小井眼侧钻水平井尾管悬挂+裸眼封隔器卡封分段筛管完井技术

小井眼套管开窗侧钻水平井，用悬挂器将尾管悬挂于原主井眼上，通过小直径防砂筛管对准油层，对油层裸眼井段进行支撑形成规则的油流通道并防砂；用多级管外封隔器对油层上部到悬挂器之间的造斜段进行卡封、实现油水层之间的隔离，防止层间干扰，实现不固井完井。对于生产多个层段可以用管外封隔器进行分隔。

冀东油田侧钻水平井主要是在 $5\frac{1}{2}$ in 套管内下 $\Phi 118$ mm 钻头侧钻水平井，由于原井套管和侧钻井眼两方面限制（原井套管 $5\frac{1}{2}$ in，侧钻水平井裸眼尺寸 $\Phi 118$ mm），侧钻水平井完井套管只能在 $2\frac{7}{8}$ ~ $3\frac{1}{2}$ in 之间，完井工具最大外径为 $\Phi 114$ mm。

目前实施较多、也较成熟的是在 $5\frac{1}{2}$ in 套管内侧钻水平井（带管外封隔器封隔的）悬挂 $2\frac{7}{8}$ in 筛管完井（完井管柱示意图见图 5）。该完井技术是对以前完井技术的完善，可有效地进行油井造斜段气、水层的封堵，油井造斜段的油层也得到了有效的开发，与以前的完井技术相比有了很大的提高。尤其是对一些生产了十几年甚至几十年即将报废的老井，

又有了一种新的利用方式。

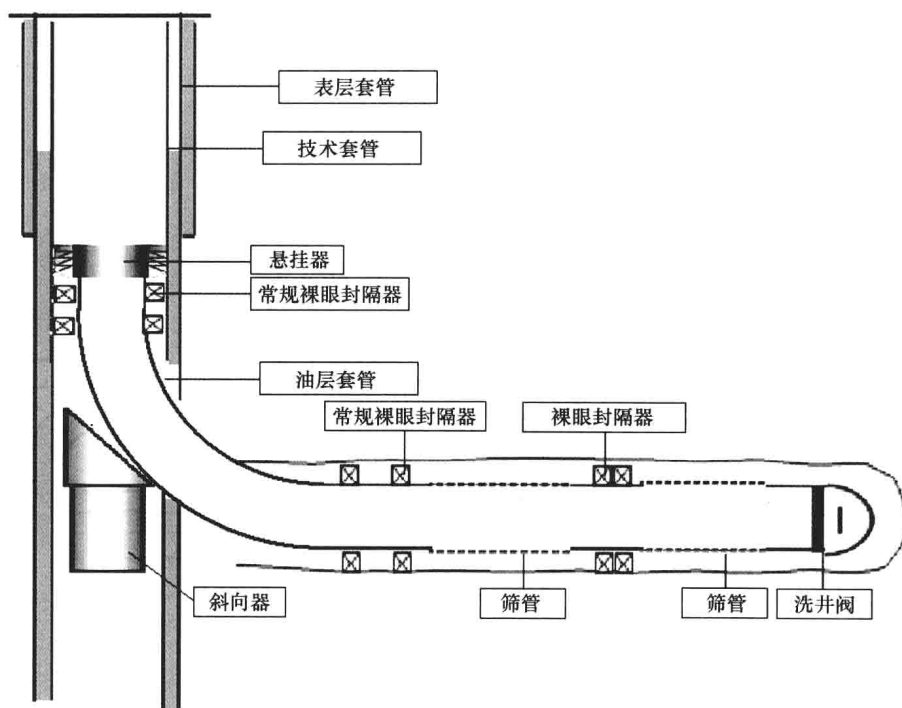


图5 小井眼侧钻完井管柱图

截止 2010 年底此种方式共完井 20 口。

3.2.2 侧钻水平井尾管悬挂 + 油层顶注水泥 + 裸眼封隔器分段筛管完井技术

随着对复杂结构型油藏的不断开发，对侧钻井完井技术的要求越来越高，完井过程中既要满足油层防砂、分采分注要求，又要实现造斜段水、气层的有效封堵，以达到井眼的充分利用。为此也开展了侧钻水平井筛管顶部注水泥完井技术的研究（完井管柱示意图见图 6）。

该项完井技术是将注水泥固井技术、管外封隔器加筛管（或滤砂管）完井技术有效地结合在一起，是对上述几项完井技术的进一步发展。

该完井技术于 2006 年在 N36 - CP1 井首次进行了现场应用，取得较好的效果，特别是对造斜段有油层、水层和气层的油井封堵效果尤为突出，也为后期造斜段油层的开发打下基础。目前已经成功应用 15 井次。

4 调流控水筛管分段完井技术

完井方式采用调流控水筛管完井，在水平井完井阶段对油井产液进行控制，以抑制含水上升。对于一口水平井，根据地层特性、产层状况、设计产量和水平段长度等参数，现场调整控水筛管的喷嘴大小，达到均衡水平段的流动阻力、使水平段上各井段具有基本相同的生产压差、均衡产液的目的，最大限度地提高油井产量，控制底水锥进或脊进。

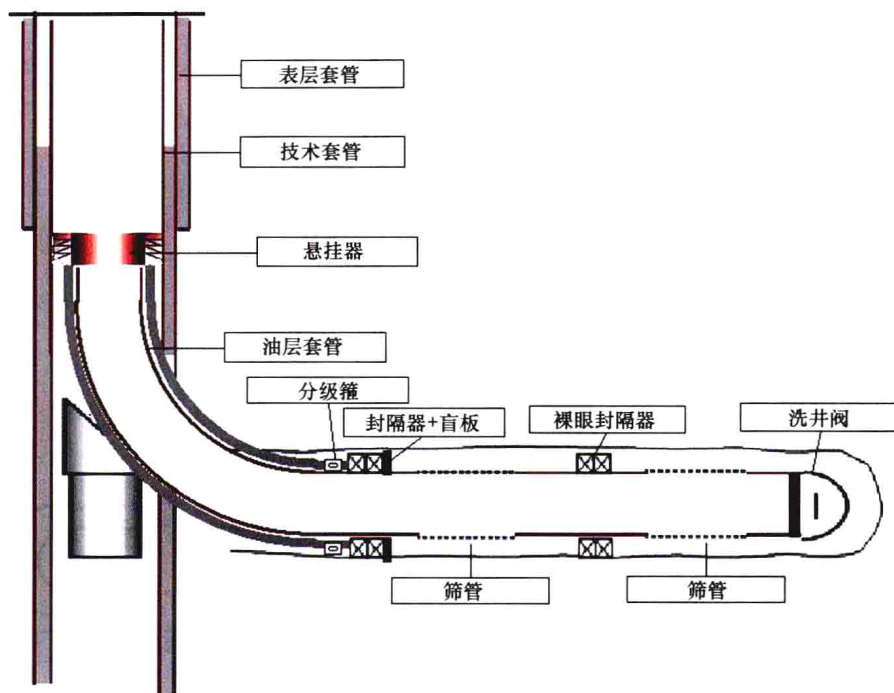


图6 侧钻水平井悬挂筛管顶部注水泥完井管柱图

4.1 技术原理

如图7所示,采用调流控水防砂筛管与裸眼封隔器配合使用,将水平井段分隔成多个分段,将经过每段筛管的流体集中控制,分别配置不同大小的喷嘴,地层流体流经喷嘴时将产生不同的流动阻力,用喷嘴来限制个别大流量分段的流量,进而实现均衡的有效生产压差剖面和产液剖面。

调流控水筛管对筛管内流体的速度很敏感,如果某分段见水或产生油水混合物中水的指进现象,流速就会上升很快,此时管内的调流喷嘴就会对这类高速流体产生阻力,从而降低该分段的产液量,达到调节流量的目的。

4.2 调流控水完井管柱

调流控水筛管完井管柱如图8所示,管柱结构为:洗井阀+Ⅱ型调流控水筛管+遇油膨胀封隔器+Ⅱ型调流控水筛管+套管阀+普通管外封+分级箍+套管至井口。

完井施工工艺过程:下完井管柱→固井→候凝→钻盲板→下洗井管柱→反洗井→下套管阀开关工具→关闭套管阀→下泵完井。

该完井技术于2007年在M125-P6井首次进行了现场应用,采油曲线见图9;M125-P6井投产初期日产液 39.5 m^3 ,日产油 39.1 m^3 ,含水降至0.9%,M125-P6井的无水采油期达到3个月,含水大大降低,控水效果非常明显。

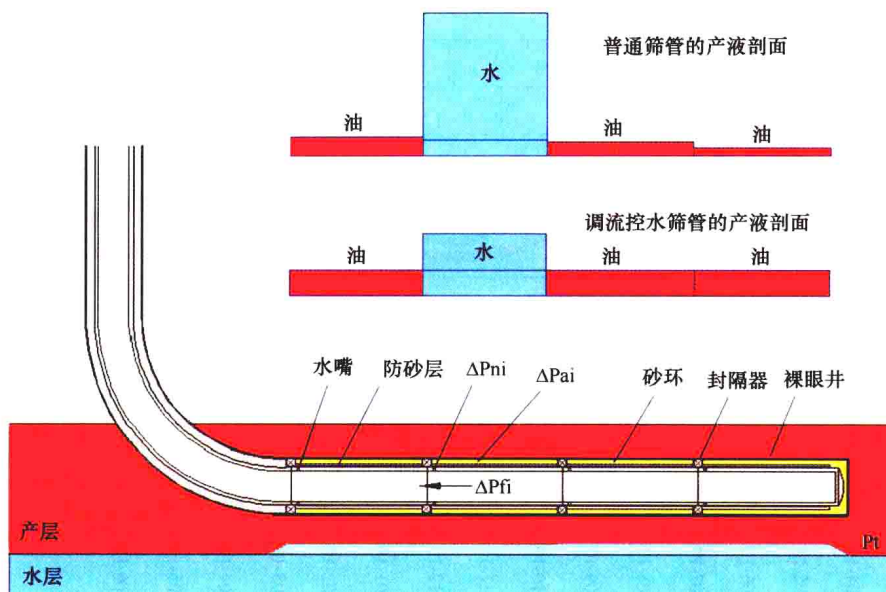


图 7 调流控水筛管的技术原理示意图

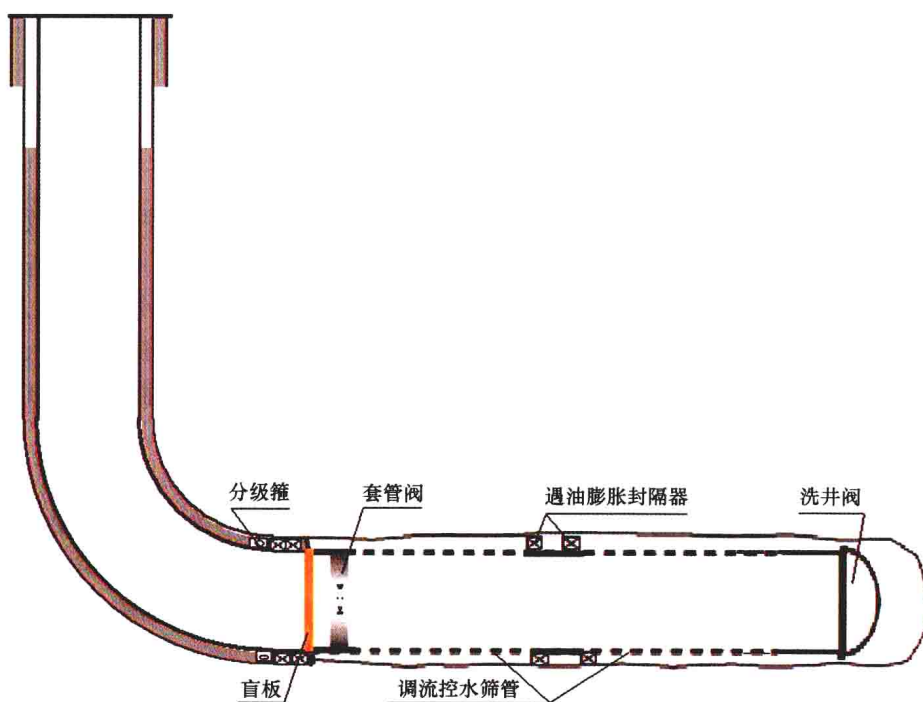


图 8 调流控水筛管完井管柱图

冀东油田从 2007 年 4 月份到 2011 年 12 月份共计 14 口水平井现场应用调流控水筛管

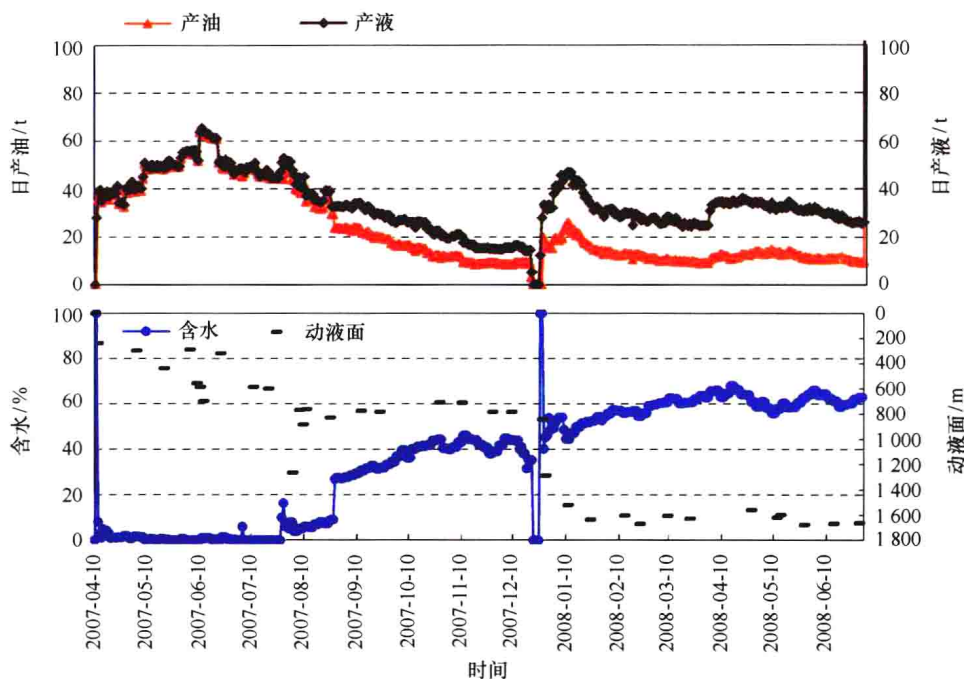


图9 M125-P6井采油曲线图

完井技术，并取得了较好的投产效果。

5 遇油/水膨胀封隔器分段完井技术

为了避免水平井在开发过程中过早出现水淹，方便对后期出水油井进行有效找堵水作业，根据油藏特点，提出了遇油/水膨胀封隔器分段完井的技术思路，以满足新钻水平井的完井需要。截止2010年12月底，冀东油田使用遇油/水膨胀封隔器分段完井方式51口井，进口遇油膨胀封隔器现场应用32井次，高昂的成本制约了推广应用的规模，自遇油/水膨胀封隔器国产化后，在现场实施分段完井21口，试验井已累计产油 3.4×10^4 t。

5.1 “遇油/水膨胀封隔器+筛管”完井方式

水平井采用“遇油/遇水膨胀封隔器+筛管”完井方式，管柱如图10。该完井方式普遍采用上部注水泥固井，裸眼水平井段利用“遇油/水膨胀封隔器+筛管”完井。遇油/水膨胀封隔器能够对水平井段进行有效封隔。筛管选用普通筛管或控流筛管，以达到水平井段均匀出液，延缓底水锥进或脊进，延长水平井的采油周期。

目前，冀东油田的新钻水平井使用该完井方式41井次。

5.2 老井侧钻完井技术

为了挖掘剩余油，冀东油田对一些老井重新进行了开发利用，侧钻水平井是一种既能够利用部分原井套管，又能省去部分完井费用，完成油田上产的一种新途径。由于大多数