

◀ 专家视点 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2012.01.001

我国水平井完井技术现状与发展建议

熊友明, 刘理明, 张 林, 陈 阳, 王 彬, 熊泳杰

(西南石油大学完井技术中心, 四川成都 610500)

摘 要: 经过几十年的发展, 我国各种岩性的油气藏都有水平井钻成, 且采取的水平井完井方法多种多样。但是, 我国的水平井完井技术尚有 2 个难点, 即水平井如何均衡排液并提高开发效益、低渗透砂岩油气藏水平井如何进行多段压裂改造。详细介绍了我国底水油藏延缓和控制底水脊进的技术现状, 现有技术有采水采气联合控制水气脊进、射孔井分段控水完井、裸眼井分段控水完井、水平井井下智能找堵水及分层开采完井、水平井均衡排液完井等。其中, 均衡排液完井属于系列技术, 包括变盲筛比例筛管控水完井、梯级筛管完井、梯级筛管与变盲筛比例筛管复合、中心控压控水完井等。分析介绍了低渗地层水平井分段压裂完井技术现状, 该类技术包括水力喷射分段压裂、双卡上提压裂多段技术、分段环空压裂、液体胶塞隔离分段压裂、机械桥塞隔离分段压裂、水平井限流压裂等; 研究了水平井分段压裂合理段数的设计, 指出: 应根据地层特点确定合理的分段压裂段数, 以避免因裂缝间距太小相互干扰或因裂缝间距太大造成死油区很大。最后, 针对我国水平井完井技术现状, 预测了发展趋势, 提出了发展建议。

关键词: 水平井完井 底水脊进 均衡排液 低渗透油气藏 多段压裂

中图分类号: TE257 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2012)01-0001-06

Present Status and Development Comments on Horizontal Well Completion Techniques in China

Xiong Youming, Liu Liming, Zhang Lin, Chen Yang, Wang Bin, Xiong Yongjie

(Center for Well Completion Techniques, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China)

Abstract: Horizontal wells were drilled and completed in almost all kinds of reservoirs through decades of development, and many kinds of well completion method are available. However, two difficulties still exist in horizontal well completion in China, i. e. equilibrium drainage along horizontal wellbore in order to improve development efficiency, multi-stage fracturing in low permeability sandstone reservoirs. The technology to delay and control bottom water cresting in oil reservoirs with bottom water in China were described in detail. Those technologies included: combination control of water and gas cresting by water and gas production, selective well completion to control water cresting in perforated and open hole wells, intelligent water identification/plugging in horizontal wells and separated recovery and completion and equilibrium drainage techniques in horizontal wells. Equilibrium drainage completion techniques were introduced as a series, i. e. screen pipe water-control completion with variable blind-screen ratio, step screen pipe completion, combination of step screen pipe and screen pipe with variable blind-screen ratio, center water and pressure controlling completion. Current situation of multi-stage fracturing technologies in low-permeability formation was introduced, which included staged fracturing by hydraulic jetting, double sticking lifting, annular staged fracturing, liquid plug isolation, mechanical bridge isolation and horizontal well limited-entry fracturing. Optimal fracturing stage number was studied and it was shown that, reasonable fracturing stage number shall be determined according to the reservoir characteristics, to avoid mutual interference between fractures because of dense spacing or avoid large dead oil area because of sparse spacing. Finally, the development trend and suggestions were presented considering the development status of horizontal well completion technology in China.

Key words: horizontal well completion; bottom water cresting; equilibrium drainage; low permeability reservoirs; multi-stage fracturing

我国水平井技术始于 1965 年, 当时在四川成功完成了磨 3 井^[1-2], 该井是我国第一口水平井, 也使我国成为世界第三个钻成水平井的国家。但是这之后, 一段时间内水平井技术停滞不前, 鲜有发展。国家“十五”计划开始以后, 随着石油钻井技术的不断进步、成本的逐渐降低以及国际国内原油价格上涨

收稿日期: 2011-08-12; 改回日期: 2011-08-28。

作者简介: 熊友明(1963—), 男, 四川夹江人, 1984 年毕业于华东石油学院采油工程专业, 1987 年获西南石油学院油气田开发工程专业硕士学位, 教授, 博士生导师, 主要从事现代完井理论与工程、现代防砂技术、水平井技术、分支井技术等方面的研究工作。

联系方式: (028)89379279, xiongyim@vip.sohu.com。

的推动,水平井的发展重焕生机。目前在我国,不论是砂岩、碳酸盐岩、火成岩还是变质岩地层,也不管是油田还是气田,都已经有了水平井了。而且,经过几十年的探索与实践,目前我国水平井可采用的完井方法与直井一样有很多种,即常规油气藏的水平井完井已经几乎不存在很大的技术难题了。我国水平井完井的主要技术难点有:1)水平井如何均衡排液并提高开发效益;2)低渗透砂岩油气藏水平井如何进行多段压裂改造。为此,笔者主要针对这2个难点进行分析,并提出了一些建议。

1 延缓和控制底水脊进技术现状

实践表明,底水脊进导致高含水停产的井在停产水平井中占很大比例,因此可以说底水脊进是目前制约水平井开发经济效益的瓶颈^[3]。

1.1 水平井底水脊进的机理

对于直井底水锥进,除了采用避射和打隔板技术以外,没有任何方法可以控制水的锥进,而避射和隔板技术延缓底水锥进的时间也很短,所以常用水平井开发底水油藏,通过控制产量来达到目的。

油田生产过程中油层流体之间主要存在2种力:一种是流体生产过程中产生的黏性力(生产压差越大,黏性力越大),一种是由流体的密度差异引起的重力(水的密度越大、原油密度越小,越有利)。2种力不断作用的过程中,黏性力逐渐抵消重力。当黏性力超过重力时,就会形成底水脊进,即底水脊进是指在生产压差作用下地层水向上移动进入生产井筒的过程,如图1所示。如果不进行生产;底水锥进(脊进)就不会发生。但是,要保持一定的产量,甚至想提高产量,则只有提高生产压差,那么底水锥进(脊进)就不可避免。

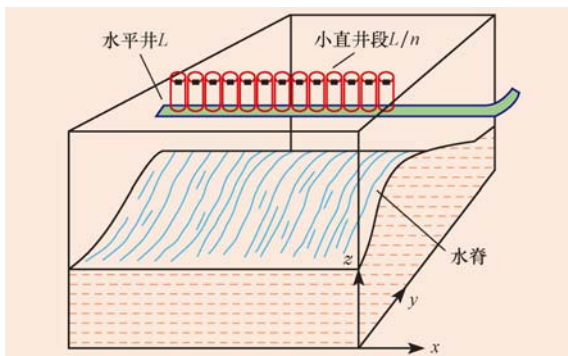


图1 水平井底水脊进示意

Fig.1 Sketch map of bottom water cresting in horizontal well

一般来讲,底水脊进的模式有跟端脊进和非均匀脊进2种。跟端脊进发生在均质油藏,非均匀脊进沿水平井长度渗透率非均值、裂缝性地层裂缝非均匀分布,在整个水平井段渗透率最高的地方相对容易发生。

1.2 延缓和控制底水脊进的措施

1.2.1 采水采气联合控制水、气脊进

窦宏恩^[4]根据油井生产时的压降分布,设计出消除底水、边水突破油井的工艺方法,即油层和水层同时生产。直井或水平井中可在钻穿油层采油的同时,钻穿水层采水,从而避免油井见水,达到提高采收率的目的。该方法是在同一直井段完钻2个层或在直井段中完钻2个水平段,相当于钻2口井(1口浅井,1口深井)。这是采用积极的方法来抑制水、气突入油井。但是,当底水能量充足的时候,效果会降低。

1.2.2 射孔井分段控水完井

宋开利^[5]对水平井分段采油工艺管柱进行了研究,采用分段射孔的完井方案,设计了2种水平井分段采油工艺管柱:一种是以SPY441型丢手封隔器为主的卡水工艺管柱,能可靠地封堵下部水层,重新射开上部油层后又可正常生产;另一种是以皮碗式封隔器为主的封上采下生产管柱。现场应用表明,这些管柱能有效封堵高压水层,且效益明显。因为水平井在整个长井段上油层的泄油供液不均衡(应用表明上部大于下部),有些同时射开的水平井,其下部射孔段甚至不产液;又因为在油井含水上升后可以采取卡堵水措施^[6-7],所以针对长井段、非均质严重的水平井以及阶梯式水平井,一般采用分段射孔的完井方案。

李洪山^[8]对水平井底水油藏变密度射孔技术优化进行了研究。他从改变水平井射孔密度的角度入手,人为控制生产压差,使水平井的水平段从远井地带到近井地带以固定生产压差生产,从而减缓水平井的底水脊进。由于水平井水平段流体生产时存在摩阻,水平段跟部的摩阻大、流压低,易造成底水脊进。通过在射孔器材上采用变孔密射孔设计方案,提出了射孔设计的计算方法,人为控制生产压差,使水平段从远井地带到近井地带,均匀流入,减缓底水的上升速度。该技术在港大油田的水平井中应用了20余井次,见水时间都得到了不同程度的延长,取

得了一定的效果,为底水油藏水平井控制底水上升提供了宝贵的经验。

熊友明等人^[9-12]进行了深入研究,发现由于射孔孔眼直径大、流体流入的摩阻小,只靠改变射孔孔眼密度实现控水的效果有限,通过多年的研究,形成了水平井分段变参数射孔优化设计理论和设计软件,主要技术如下:1)油藏无底水情况下,进行水平井段长度上的变密度、变穿深等变射孔参数优化组合,均匀消除沿水平井段长度上的钻井污染剖面并追求产量最大化,或者通过变穿深、变射孔密度实现水平井生产的均衡排液完井;2)有底水情况下,进行水平井段长度上的变密度、变穿深等变射孔参数优化组合,合理利用钻井污染剖面并追求产量最大化,同时延缓和控制底水脊进;3)水平井注蒸汽开采分段射孔优化设计,研究水平井跟端注汽、趾端注汽、中段注汽和均匀注汽4种模式下,保证蒸汽均匀进入水平井各段的分段射孔参数优化设计;4)水平井分段压裂匹配的分段射孔参数优化设计,根据不同的水平井长度设计最佳的压裂段数、裂缝长度,以及各段匹配的分段变射孔参数;5)集成了负压设计方法,比如W. T. Bell方法、美国岩心公司方法、G. E. King方法、Tarig方法、Colle方法、美国Conoco公司方法,进一步考虑水平井生产与垂直井不一样的特点以及低渗地层启动压力的问题,形成了水平井最佳射孔负压差设计的新方法。

1.2.3 裸眼井分段控水完井

国外水平井裸眼分段的完井方法有带管外封隔器ECP及割缝衬管完井、带管外封隔器ECP及滑套衬管完井2种^[9]。前者的缺点是:盲管长度仅是管外封隔器ECP的长度,封堵一个出水层段后,底水会很快绕到另一个层段,对延缓底水脊进效果不明显;后者除了具有前者的缺点外,在井下高温、高压或者腐蚀性强的地层,井底滑套很容易失效,油井寿命受到影响。以上2种完井方法也是国外智能完井所用的主要完井方法。

针对上述2种完井方法的缺点,西南石油大学和中海石油(中国)有限公司深圳分公司于2006年针对流花11-1底水礁灰岩裂缝性地层大位移水平井完井进行了联合研究,提出了新型带ECP的打孔管分段堵水完井方法^[10],形成了相应的分段完井技术理论。例如,设计的应用于该油田600 m长度水平井的分段原则为:200 m打孔管+100 m盲管(两端各带1个ECP)+200 m打孔管+100 m盲管(两

端各带1个ECP)+200 m打孔管。该完井方法的特点是:

1)水平段中的完井管柱由不同长度的打孔管、盲管配合ECP组成,依靠合理的盲管长度达到有效延缓底水脊进的目的;由于盲管段很长,封堵一个出水层段后,底水要很长时间才能绕到另一个层段,因此其他两个或者一个层段还能继续生产。

2)由于预先将水平井分段,具备后期对水平井实施化学或者机械堵水的功能。

3)该完井方法中,盲管和打孔管的长度与比例配置是关键问题。长度与比例配置合理,会起到延缓底水锥进的作用,对产能的影响小;长度与比例配置不合理,将会对产能有较大的影响,并且不能起到延缓底水锥进的效果。

4)对于出砂的油藏可以采用各种高级优质防砂筛管,或者割缝衬管、绕丝筛管替代打孔管,对于其他适合衬管完井的油藏,可以用衬管替代打孔管,因此该方法适合各种类型地层。

1.2.4 水平井井下智能找堵水及分层开采完井技术

国内某公司开发了一种井下智能找堵水及分层开采完井技术,该技术适合已经出水的、实施了分段完井的老水平井,是上述射孔分段完井和裸眼分段完井后进行找水、堵水的配套技术。

目前国内各油田采用的找堵水方法,如封隔器找水-堵水技术、产液剖面测试找水技术、井下液压开关调层找堵水技术、井下电动开关调层找堵水技术等,在应用中或多或少受到各种因素的限制,如井况、成本、周期和成功率等。而井下智能开关器与封隔器配合使用的方法,既能按照设定的时间顺序自动打开或关闭油层,也能在地面遥控井下开关的状态,用较低的成本就可实现油井的找水、堵水,达到分层开采、降水增油的目的。该技术将智能微电子技术应用于生产管柱中,实现了油井任意选层开采与直接获取油井分层资料(分层压力、渗透率和污染系数等)的目的,为油田开发提供真实准确的动态监测资料。该技术已在国内4口井成功应用。

1.2.5 水平井均衡排液完井技术

现场测试发现,即使是无底水油藏,部分水平井生产很长一段时间后,仅有根端附近出油,而靠近趾端的很长一段水平井眼根本不出油。而对于底水油藏,延缓和控制底水脊进则更为重要。为此,西南石油大学进行了大量研究,提出水平井均衡排液完井

技术思想,并取得一系列成果:2001年起,针对水平井延缓和控制底水,研究了变盲筛比例筛管控水完井技术、梯级筛管完井技术、梯级筛管与变盲筛比例筛管复合技术以及中心控压控水完井技术,并取得专利^[9-12]。其中,与中海石油(中国)有限公司深圳分公司联合研究的中心控压控水完井技术,在中国海油西江23-1油田延缓和控制水平井底水脊进中取得成功^[3]。同时,还研制开发了集成了上述先进技术的水平井均衡排液完井优化设计软件。

另外,国内另一石油技术公司研制了一种节流控水筛管,该筛管主要由基管、调流控水装置和防砂过滤管等部分构成,通过施加一定的流体流入阻力达到控水目的。该筛管2008年在冀东油田进行了应用,效果不是很明显,具体设备结构仍然需要优化,但也不失为一种有益的尝试。除此之外,还有公司研制出了一种带节流喷嘴的控水筛管,用于实现水平井的均衡排液完井。

2 低渗地层分段压裂完井技术现状

分段压裂是水平井的关键配套技术之一,运用分段压裂可在较短时间内一次性完成对多个储层的压裂,并最大限度地减少对储层的伤害,达到多层合采提高单井产量、最大限度提高地质储量可动用程度的目的。目前,各油田采用的水平井分段压裂技术主要有连续油管分层压裂技术、水力滑套喷砂分层压裂技术、投球打滑套分段压裂工艺技术和水平井裸眼分段压裂(包括酸压)技术等^[13-16]。

2.1 分段压裂工艺现状

1) 水平井水力喷射分段压裂技术。水力喷射分段压裂是水力喷射和水力压裂的结合,它是把油管中的流体加压后经喷嘴喷射出来形成高速射流(喷嘴射流速度超过190 m/s),使地层形成裂缝。该技术的优点是可在需要改造的任意位置进行压裂,不需要下入隔离工具,大大减小了砂埋或砂卡的风险;其缺点是环空需要泵注液体,对于高压气井需安装井口防喷器,压裂完成后需要起出管柱,再下入完井管柱进行投产。

2) 水平井双卡上提压裂多段技术。利用双封隔器隔离,可实现一次多层压裂,先对井筒末端进行压裂,上提管柱,依次压开后续井段。该技术的优点是可对压裂层段实施准确定位,一次压开多段;缺点是容易砂卡封隔器,造成井下故障。

3) 水平井分段环空压裂技术。利用单封隔器进行隔离,从井筒末端开始,逐段封隔逐段压裂,实现分射分压。该技术的优点是下井工具少,一旦出现砂卡,相比单封和双封压裂处理事故难度小,另外液体摩阻小,有利于提高排量;缺点是对套管质量有一定影响,在深井中使用还需要改进与完善,且施工相对复杂,要求封隔器具有良好的密封性。

4) 液体胶塞隔离分段压裂技术。水平井胶塞隔离分段压裂工艺是自井筒末端开始,逐段封堵逐段压裂,在前一级压裂完成之后,对求产结束的井段进行填砂,替入超黏完井液,该完井液一旦就位就会胶凝成一种橡胶式的胶塞。胶塞在试油压裂过程中只起临时封堵作用,可定时软化易于清除。该技术的优点是避免了下入井下作业工具砂卡带来的潜在风险;缺点是与封隔器机械分隔相比,造缝点难以控制,作业周期长,冲砂易造成储层伤害,不适用于低渗致密气藏。

5) 机械桥塞隔离分段压裂技术。利用桥塞进行隔离,逐段封堵逐段压裂,可实现双封分压,但是压后需要打捞桥塞,容易砂卡或砂埋。长庆油田在苏里格气田苏东首口 $\phi 152.4$ mm井眼套管固井水平井采用水力泵入式桥塞射孔分段压裂工艺,成功实现了15段压裂。

6) 水平井限流压裂技术。限流压裂技术的机理是,在压裂过程中,当压裂液高速通过射孔孔眼进入储层时,会产生孔眼摩阻且随泵注排量的增大而增大,带动井底压力的上升,当井底压力超过多个压裂层段的破裂压力,即在每一个层段上压开裂缝。该技术的优点是施工相对简单,周期短,一次施工便可以压开多条裂缝,利于油层保护。缺点是该工艺受射孔孔眼回压影响较大,单条裂缝的控制困难;而且由于施工能力的限制,较长的水平井筒裂缝数目较多时,单条裂缝孔数较少,改造强度受影响;各裂缝起裂和延伸不均衡,影响增产效果。

从工艺上来讲,以上分段压裂的关键技术在于分段压裂工具及工艺方法,而且需要配备连续油管等连续冲砂设备,以达到施工改造的要求。但是,上述井下工具目前还不能完全国产化,与国外相比存在较大差距。

2.2 水平井分段压裂合理段数的设计

对于分段压裂段数,各油田基本按照经验来设计。不过,段数要合理,如果段数设计多了,裂缝之

间间距太小,会产生如下问题:1)投入太高;2)生产时各压裂层段之间、特别是各裂缝之间出现干扰,如图 2 所示。反之,段数设计少了,裂缝之间间距太大,又会出现如下问题:1)产量低;2)各压裂段之间死油区太大,如图 3 所示。

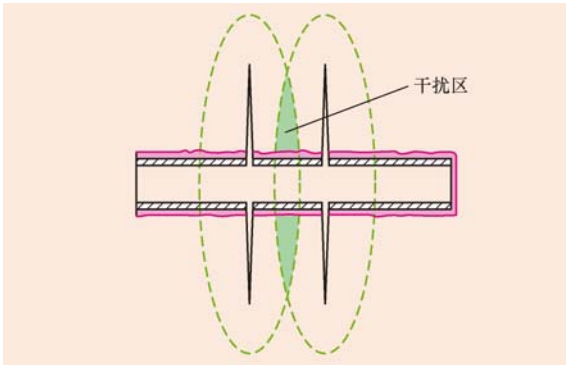


图 2 裂缝之间因间距太小相互干扰

Fig. 2 Seepage interference between fractures due to dense spacing of fractures

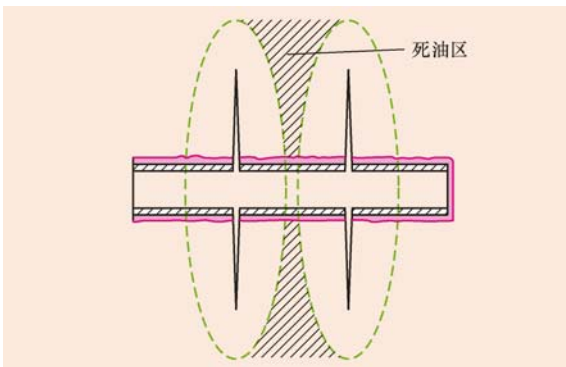


图 3 裂缝之间因间距太大死油区太大

Fig. 3 Large dead oil area because of sparse spacing of fractures

因此,合理的分段必须考虑上述 2 方面的影响,综合分析形成裂缝后的油藏渗流、井筒流动、成本、产量、地层物性和油层厚度等多种因素。应用实例分析表明:1)对水平井进行分段压裂时,有效支撑缝长度取值为 120~200 m 较好;2)对于分段压裂的水平井来说,不必全井段都射孔,只在设计的压裂位置射孔引流即可。

目前,已经研制出专门针对低渗透地层水平井分段压裂合理分段数设计的软件,并在部分油田进行了应用。

3 水平井完井技术发展趋势及建议

1) 对于完井工程,思想认识上应该引起重视,

并积极促使地质、油藏和工程各相关领域紧密协作,使单一工程的完井向钻井—完井—采油系统化发展;工作思路,从短期行为向考虑长期效益发展,完井的方案设计需要考虑到后期的采油。

2) 目前,完井技术总的发展趋势是:传统直井完井向水平井、多底井和分支井完井发展;单一完井方法向多元化发展,传统完井向有效配套发展。

3) 常规水平井完井向水平井分段完井发展。对于低渗地层,依据不同地层的特点及水平井固井技术水平,可以实施射孔分段,也可以实施裸眼分段,从而实现低渗地层的分段压裂完井、提高产量;而对于一些缝洞发育的碳酸盐岩地层,由于射孔分段非常困难,需要大力发展裸眼分段完井技术,研制抗高温、高压和腐蚀的井下封隔器,利用“筛管+盲管+封隔器”的组合实现分段完井。

4) 对于水平井射孔,不能再采用与垂直井射孔一样的设计思路,需要大力推广分段变参数射孔,这样可以做到有底水时防底水、没有底水时能均衡排液。

5) 传统水平井完井向均衡排液水平井完井技术发展。对于无底水油藏,实行均衡排液完井,可以提高出液效率和经济效益;对于底水油藏,实行均衡排液完井,可延缓和控制底水脊进,提高无水采收率和经济效益。

6) 在低渗透地层进行水平井分段压裂,要根据地层的具体特点确定合理的分段压裂段数,以避免裂缝之间间距太小相互干扰,或裂缝间距太大死油区大,从而达到最佳开发效果和经济效益。此外,需要大力发展分段的工具,以完全实现国产化。

7) 整体来讲,国内完井工具的发展严重滞后于完井技术和完井理论的发展,因此,需要大力发展适合各种地层条件的井下完井工具。

4 结束语

水平井完井技术目前的主要难点是如何实现水平井均衡排液和低渗透砂岩油气藏水平井如何进行分段压裂改造。对于无底水油藏,传统的完井思路需要改变,要通过设计完井段的参数实现水平井均衡排液生产,使水平井各段均衡出液;对于底水油藏,必须按照延缓底水脊进的思路设计完井方法及完井参数,通过改变完井管柱结构来实现均衡排液,也可以通过改变近井筒地层的变射孔参数(主要是变孔深、变密度)来实现均衡排

液。对于底水油藏水平井,除了采用上述延缓底水脊进的方法之外,还可采用控制底水和治理底水的完井方法达到提高采收率的目的,这类方法如射孔分段完井、裸眼分段完井、智能找水和堵水完井和智能完井等。对于低渗透砂岩油气藏水平井分段压裂,不能简单地分很多段,而是要根据地层的具体特点确定合理的分段压裂段数,避免因裂缝间距太大或太小带来的问题,从而提高油井产能和整体的经济效益。

参 考 文 献

References

- [1] 安庆选. 我国第一口水平井[J]. 四川石油经济, 1995(2): 60.
An Qingxuan. The first horizontal well of China[J]. Sichuan Petroleum Economics, 1995(2): 60.
- [2] 苏义脑, 孙宁. 我国水平井钻井技术的现状与展望[J]. 石油钻采工艺, 1996, 18(6): 14-20.
Su Yinao, Sun Ning. Horizontal drilling technology: present and future[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1996, 18(6): 14-20.
- [3] 熊友明, 刘理明, 唐海雄, 等. 延缓和控制水平井底水脊进的均衡排液完井技术[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(4): 66-71.
Xiong Youming, Liu Liming, Tang Haixiong, et al. Well equalizing flowing completion technology to delay and control bottom water coning in horizontal well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 66-71.
- [4] 窦宏恩. 水平井开采底水油藏的消锥工艺及证明[J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(3): 56-59.
Du Hong'en. Deconing technology and testifying of using horizontal well to exploit bottom water reservoir[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1998, 20(3): 56-59.
- [5] 宋开利. 水平井分段采油工艺管柱[J]. 石油机械, 2003, 31(8): 40-41.
Song Kaili. Section oil production pipe string of horizontal well[J]. China Petroleum Machinery, 2003, 31(8): 40-41.
- [6] 吴均, 李良川, 朱玉双, 等. 底水油藏先期堵水技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(增刊1): 94-96.
Wu Jun, Li Liangchuan, Zhu Yushuang, et al. Technology of water plugging in advance for bottom water reservoir[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(supplement 1): 94-96.
- [7] 戴彩丽, 赵福麟, 李耀林, 等. 海上油田水平井底水脊进控制技术[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 69-72.
Dai Caili, Zhao Fulin, Li Yaolin, et al. Control technology for bottom water coning in horizontal well of offshore oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 69-72.
- [8] 李洪山. 水平井底水油藏变密度射孔技术优化研究[J]. 内蒙古石油化工, 2007, 33(5): 208-210.
Li Hongshan. Horizontal well of bottom water reservoir variable density perforation technology optimized research[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2007, 33(5): 208-210.
- [9] 熊友明, 罗东红, 唐海雄, 等. 延缓和控制底水锥进的水平井完井新方法[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(1): 103-106.
Xiong Youming, Luo Donghong, Tang Haixiong, et al. New-type horizontal well completion method of delaying and controlling bottom water coning[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2009, 31(1): 103-106.
- [10] 熊友明, 唐海雄, 张俊斌, 等. 一种水平井控压缓水锥的功能的完井装置: 中国, 201627573U[P]. 2010-11-10.
Xiong Youming, Tang Haixiong, Zhang Junbin, et al. A horizontal well completion device for controlling and delaying cresting: CN, 201627573U[P]. 2010-11-10.
- [11] 唐海雄, 熊友明, 张俊斌, 等. 水平井控压缓水完井技术研究[J]. 中国科技纵横, 2010(12): 71-73.
Tang Haixiong, Xiong Youming, Zhang Junbin, et al. Research for controlling and delaying bottom water cresting technology in horizontal well[J]. China Science and Technology Browse, 2010(12): 71-73.
- [12] 熊友明, 唐海雄, 张俊斌, 等. 一种高效控压缓水锥水平井完井技术: 中国, 101655007[P]. 2010-02-24.
Xiong Youming, Tang Haixiong, Zhang Junbin, et al. A high efficient controlling and delaying bottom water cresting horizontal well completion technology: CN, 101655007[P]. 2010-02-24.
- [13] 刘艳艳, 刘大伟, 刘永良, 等. 水力压裂技术研究现状及发展趋势[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(3): 75-78.
Liu Yanyan, Liu Dawei, Liu Yongliang, et al. Study progresses of hydraulic fracturing technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(3): 75-78.
- [14] 张广清, 陈勉, 姚飞, 等. 各向异性地层重复压裂最优时机及影响因素分析[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 885-888.
Zhang Guangqing, Chen Mian, Yao Fei, et al. Study on optimal re-fracturing timing in anisotropic formation and its influencing factors[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 885-888.
- [15] 蔡文斌, 李兆敏, 张霞林, 等. 低渗透油藏水平井压裂理论及现场工艺探讨[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 80-85.
Cai Wenbin, Li Zhaomin, Zhang Xialin, et al. Horizontal well fracturing technology for reservoirs with low permeability[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 80-85.
- [16] 田守瞻, 李根生, 黄中伟, 等. 连续油管水力喷射压裂技术[J]. 天然气工业, 2008, 28(8): 61-63.
Tian Shouzheng, Li Gensheng, Huang Zhongwei, et al. Hydrojet-fracturing technology with coiled tubing[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(8): 61-63.