

国内外小井眼井钻采技术的发展现状^{*}

李文魁 陈建军 王云 周广厚 刘岩 曹光强 刘翔

中国石油勘探开发研究院廊坊分院

李文魁等. 国内外小井眼井钻采技术的发展现状. 天然气工业, 2009, 29(9): 54-56.

摘 要 采用小井眼井大幅度地降低低渗透、特低渗透气田的开发成本, 来提高我国该类气田的开发经济效益显得十分紧迫和非常必要。为此, 在调研国内外相关小井眼井钻采技术的基础上, 介绍了国内外小井眼井钻采技术的发展现状; 包括国外小井眼井钻完井技术和井下工具的配套, 小井眼井排水采气及增产改造等技术的现场应用效果; 国内小井眼井钻井技术, 小井眼井增产改造和配套工艺研究及现场应用效果; 国外小井眼井的井下工具已基本配套, 而国内井下工具仍需进一步配套完善。进一步提出了结合国内小井眼井钻采技术现状, 尽快开展后续工艺和井下工具的配套研究, 建议中国石油天然气集团有限公司在长庆苏里格等气区划出试验区块, 开展小井眼井系列技术的现场试验, 以促进小井眼井技术的整体配套和完善。

关键词 小井眼井 低渗透 油气田 钻井 固井 完井 排水采气

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2009.09.014

0 引言

随着石油工程领域不断向边远地区的扩展, 油气生产费用不断增加, 加之在全球金融危机的大背景下, 各国经济出现不同程度的下滑, 国际油价大幅度下跌, 并处于低价徘徊, 降低成本已成为石油行业的必由之路; 而开发成本较高的低渗透、特低渗透气田在我国天然气储量与分布中占有举足轻重的地位, 低渗透、特低渗透气田开发已成为天然气开发的主战场。因此, 采用小井眼井来大幅度地降低开采成本, 提高油气田开发经济效益显得十分紧迫和非常必要。

1 国内外小井眼井技术概况

目前, 国内外对小井眼井的定义归纳起来主要有 4 种: ①井径小于 $\varnothing 215.9$ mm; ②全井 90% 的井径都小于 $\varnothing 177.8$ mm; ③井径小于 $\varnothing 152.4$ mm; ④井径小于该地区常规井^[1]。

小井眼井主要通过以下途径降低成本: ①缩短钻井周期; ②缩小油管、套管柱尺寸, 减少钢材用量; ③井口装置小、简易, 降低成本; ④减少修井工作液

用量等。

国外石油公司在 20 世纪 40 年代把“小井眼井”的概念引入到石油天然气领域, 到 20 世纪 80 年代开始得到普遍关注, 并快速发展。目前, 国外已经形成了小井眼专用钻机、井下工具及整体配套技术。20 世纪 90 年代以来, BP 公司将小井眼技术作为其勘探战略技术手段, 节省费用已经超过了 40%。瑞典采用小井眼井开采浅层气藏, 井深为 198.2~2 438.4 m、井眼尺寸最小为 63.5 mm, 钻井成本降低了 75%^[1]。

中国石油天然气集团有限公司在“九五”期间, 开始对小井眼钻井技术进行攻关研究, 大庆、吉林, 以及长庆油田等先后进行了成功的现场试验。目前, $\varnothing 114.3$ mm 生产套管钻井技术已基本成熟, 配套技术条件也较为完善。

2 小井眼井钻井技术

2.1 国外小井眼井钻井技术

国外着重研究了小井眼井身结构、钻机、钻头, 小井眼井减小钻柱振动和疲劳破坏技术^[1-8], 小井眼

* 本文受到国家科技重大专项(编号: 2008ZX05013)的资助。

作者简介 李文魁, 1965 年生, 教授, 博士; 1986 年毕业于原西南石油学院石油工程专业; 长期从事天然气开采工艺的教学和研究工作。地址: (065007) 河北省廊坊市万庄 44 号信箱。电话: (010) 69213171, 13910671225。E-mail: lwk69@petrochina.com.cn

连续取心技术,小井眼水平井钻井系统和钻井液等一系列关键技术,并取得了显著成果。

国外成熟的小井眼井尺寸一般为 $\varnothing 77.0 \sim 111.1$ mm,见表1。大大缩短了建井周期,节约了油管、套管等成本,实现了油气田的经济开发。

表1 国外石油公司小井眼井典型井身结构表

BP公司1 000 m井			
常规井		小井眼井	
井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)	井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)
444.5	339.7	158.8	139.7
311.1	244.5	120.6	98.0
215.9	139.7	85.9	73.9
Amoco公司2 400 m井			
常规井		小井眼井	
井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)	井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)
444.5	339.7	215.9	177.7
311.1	142.9	152.4	127.0
215.9	114.3	111.1	93.9
Nabors公司3 000 m小井眼井		Texaco公司3 000 m小井眼井	
井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)	井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)
311.1	244.5	311.1	244.5
209.6	177.8	215.9	177.8
155.6	127.0	139.7	127.0
104.8	93.9	103.2	93.9
		77.0	69.9

国外具有代表性的小井眼钻井公司主要有:意大利 Soilmec 公司、Amoco 公司、Nabor 公司等,其钻机具有体积小、占地面积少、既可钻井又可修井以及现代化程度高等特点。

目前国外常用的小井眼钻头包括:牙轮钻头、单牙轮钻头、金刚石钻头、混合型 PDC/TSP 钻头,以及连续取心钻头。美国 Bake Hughes 公司和 DBS 公司在小井眼井钻头研制方面取得了重要进展,提高了钻头性能和钻井效率。在国外,石油公司采用抗偏转的 PDC 钻头、柔性转盘或顶驱钻机减小扭转振动、钻井液马达(钻井液电动机)和液力加压器、耐疲劳新型钻杆接头来减小小井眼井钻柱振动和疲劳破坏。小井眼连续取心技术的实质就是绳索式取心。目前,国外已经能在井径为 $\varnothing 104.8$ mm 或更小的井眼中取心,并采用钻柱抗振技术来提高岩心收获率。

国外在小井眼井水平井钻井方面取得了重要进

展,包括水平井钻井系统和定向钻井导向工具。SlimDril 公司已研制出一套低成本小井眼水平井钻井系统。国外采用甲酸盐无固相剪切稀释钻井液,已研制出密度为 $1.3 \sim 2.3$ g/cm³ 的无固相高密度钻井液。

2.2 国内小井眼井钻井技术

我国目前还没有真正意义上的小井眼顶部驱动钻机。国内 1 500 m 以内小井眼井常用钻机主要有:①四川油气田采用的 XY5 型矿业钻机和 TSJ6/660 型水井钻机;②长庆油田采用的 XJ-450、350、250 及 T50B 等车装修井机;③大庆油田主要使用进口的 $\varnothing 1 500$ m 车装钻机^[2]。

国内小井眼井的井身结构相对简单,在川西地区的小井眼井一般采用 3 级钻头,最后一级采用 $\varnothing 108$ mm 钻头,采用裸眼或衬管完井^[9];在苏里格气田小井眼井一般采用二开制钻井,采用 $\varnothing 101.6$ mm 套管完井^[10],见图 1。

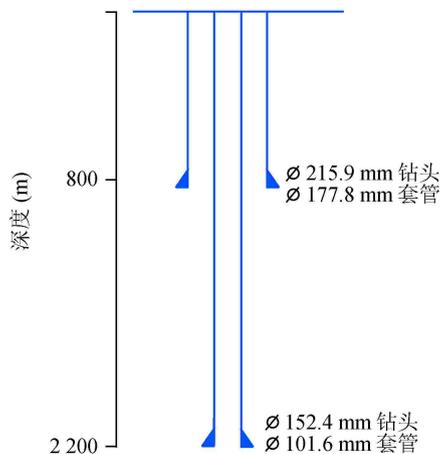


图1 苏里格气田小井眼井井身结构示意图

国内已在大部分油气田推广应用了小尺寸的 PDC、TSD 及金刚石钻头,特别是川石·克里斯坦森公司的偏心 BDC 钻头,已创造了多项国内小井眼钻井纪录。大港中成钻头厂、川克钻头厂等研制的 $\varnothing 118$ mm 和 $\varnothing 152.4$ mm 双心 PDC 和双心 BDC 钻头基本能够满足目前小井眼钻井和固井的需要。同时,国内也已经研制成功多种尺寸的小井眼井下电动机。国内应用比较成功的两种小井眼钻井液主要为阳离子聚合物低固相及复合盐水无固相体系。

3 小井眼井固井、完井技术

3.1 固井技术

小井眼井由于井眼尺寸变小,环空间隙减小,给

固井带来了一系列难题。可以通过以下方式提高小井眼固井质量:①优化设计水泥浆体系,把固井施工中井漏的可能性降到最低;②使用偏心钻头,钻出比钻头名义尺寸更大的井眼,增加水泥环厚度;③使用先进的工具:浮动工具、锁销式泵入工具、多级注水泥工具、篮式和封隔式(填料式)水泥鞋。目前,我国的小井眼固井质量已经可以基本满足生产需求。

3.2 完井技术

小井眼井由于井眼直径小,无形中限制了油气井的产能,国外最新采用的小井眼完井技术有:油管完井、连续油管完井和可膨胀式筛管完井等,目的都是为了最大限度地增大油管尺寸,发挥气井产能。在国外,可以采用油管完井的小井眼井占很大的比重(美国约为2/3)。同样,对于小井眼限制了油气井产量及地层产能发挥的情况,可选用膨胀式筛管完井。巴基斯坦 Eni 公司在 Bhit 气田的 Bhit-8 井采用可膨胀式筛管完井后产量可达 $220 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;模拟表明,如果按常规 $\varnothing 152.4 \text{ mm}$ 井眼用 $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 油管完井,其产量只能达到 $93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

根据小井眼油管完井技术的要求,Baker 石油工具公司研制了一种由3个主要产品组成的组合无接头完井系统,主要包括生产桥塞、可回收跨越式封隔系统和可消失式桥塞,在现场应用取得了成功^[10]。

4 小井眼井采气工艺技术及进展

国内外在小井眼井采气工艺技术方面也进行了现场应用,虽然存在一定的技术问题,但也取得了一定的成果。

4.1 排水采气工艺技术

国外研发了表面活性剂毛细管注入系统,可克服常规井底投入起泡棒和向环空或油管内连续注入表面活性剂的缺点。目前,最常用的毛细管尺寸有两种,一种是外径为 6.35 mm ,壁厚为 0.889 mm ;另一种是外径为 9.525 mm ,壁厚为 1.245 mm 。美国圣胡安盆地毛细管注入系统采用毛细不锈钢管将活性剂直接注到井底。2005年共进行了10口井($\varnothing 73.00 \text{ mm}$ 套管, $\varnothing 31.75 \text{ mm}$ 油管)的先导性实验,其中一口井产气量提高了99%。

在国内的长庆油田,小井眼井排水采气工艺技术取得了长足进展。

4.2 增产工艺技术

Halliburton 等公司在美国 DJ 盆地和美国 Permian 盆地进行了小井眼井限流压裂施工。在 DJ 盆地的34口小井眼气井,压裂后对产量无明显影响,

但大幅度地降低了措施费用。

国内已经完成了 $1\ 800 \text{ m}$ 的 $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 套管井压裂技术的研究;完成了 $1\ 000 \text{ m}$ 的 $\varnothing 101.6 \text{ mm}$ 套管侧钻、老井加深井和 500 m 的 $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 套管井的压裂配套工具的研究。其中,在2003~2007年期间,苏里格气田开展了6口 $\varnothing 101.6 \text{ mm}$ 套管小井眼井的压裂试验,并取得成功;吉林油田已经完成 $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 套管压裂工具技术的试验研究,各项技术指标均满足要求。

4.3 配套工艺技术

在小井眼井冲砂技术方面, $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 侧钻井冲砂已经在现场取得成功; $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 、 $\varnothing 101.6 \text{ mm}$ 套管井冲砂作业施工与常规井相同。小井眼井清防蜡技术和解堵技术的效果和所加药剂与常规井相同,可以基本满足生产的需要。 $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 、 $\varnothing 101.6 \text{ mm}$ 套管小井眼井机械堵水工艺效果与常规井相同;中国石化华东分公司采用可取式桥塞在 $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 侧腰1井及侧苏185井成功实现了机械堵水工艺。

5 小井眼井修井及井下工具

在大庆油田, $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 套管井修井工艺技术除膨胀管贴补工艺未研发外,其他工艺和工具基本配套,技术水平和施工工艺与 $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 套管井修井相当; $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 套管井修井工艺技术和工具配套急需研究开发。

随着小井眼井技术的不断发展,井下配套工具如:可膨胀式封隔器、测试仪器、MWD 工具和测井工具等也逐步发展,国外基本完成了井下工具的配套,国内井下工具需进一步进行配套研究。

6 结论与建议

1)小井眼井可以大幅度地降低气井开发成本,特别是钻井成本。结合国外经验,边际油气藏,特别是低渗透、特低渗透气藏是小井眼井的理想目标。国内外的小井眼井钻井工艺技术可以满足开发的需求,后续的完井、采气及修井等配套工艺和工具仍需开展进一步攻关研究。

2)建议中国石油天然气集团公司在长庆苏里格等气区划出试验区块,开展小井眼井系列技术的现场试验,使固井、完井、采气工艺及配套工具等与小井眼钻井同步、协调发展,为在中国石油天然气集团公司范围内开展推广应用小井眼井技术奠定坚实基础。

参 考 文 献

- [1] 杨杰,张颖.国外小井眼钻井技术的发展及启示[J].国外石油机械,1996(12):33-37.
- [2] 王士斌,李亚.国内外小井眼钻井设备的发展[J].石油矿场机械,2007,36(2):18-21.
- [3] 韩成才,朱小平.石油钻采设备[M].西安:陕西科技出版社,1999.
- [4] 陶世平,段保平,王学良,等.吐哈小井眼固井完井技术的研究与实践[J].西部探矿工程,2003(2):67-69.
- [5] 郭志勤,张全立,强杰.小井眼钻井装备及配套工具新进展[J].石油机械,2003,31(1):50-52.
- [6] 周方喜,张国华.侧钻小井眼技术在老油区开发中的应用[J].钻采工艺,2003,26(6):101-102.
- [7] 曹军,李根奎.DK262A 开窗侧钻水平井小井眼钻井技术[J].钻采工艺,2001,24(6):7-9.
- [8] 张卫勤,岳登进.国外小井眼钻井设备及工艺技术的新进展[J].钻采工艺,2001,24(6):20-22.
- [9] 巨满成,陈志勇,欧阳勇.小井眼钻井技术在苏里格气田的应用[J].天然气工业,2005,25(4):74-76.
- [10] 王建全,崔秀亮.川西地区小眼井钻井技术实践[J].石油钻探技术,1996,24(4):10-12.

(收稿日期 2009-06-18 编辑 钟水清)