

水平井分段压裂工艺技术现状及展望

陈作¹ 王振铎¹ 曾华国²

(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 2. 中国石油吐哈油田公司勘探事业部)

陈作等. 水平井分段压裂工艺技术现状及展望. 天然气工业, 2007, 27(9): 78-80.

摘要 水平井目前已成为提高油田勘探开发综合效益的重要途径,其技术已在中国石油塔里木、辽河、冀东、大庆、新疆、吉林等13个油田得到了广泛的应用。对于钻遇在低渗透油气藏的水平井和产量达不到经济开发要求的其他水平井,必然要面临增产改造的问题。水平井水平段压裂与直井压裂改造的工作重点有所不同,为此,就国内外化学隔离分段压裂、机械封隔分段压裂、限流分段压裂、水力喷射分段压裂等水平井分段压裂改造工艺技术进行了论述,展望了水平井分段压裂改造技术的发展趋势,以期为国内水平井分段压裂改造技术攻关方向提供参考。

关键词 水平井 压裂 隔离 水力喷射 封隔器 发展趋势

一、引言

国内外于20世纪80年代开始研究水平井的压裂增产改造技术,在水力裂缝的起裂、延伸,水平井压后产量预测,水力裂缝条数和裂缝几何尺寸的优化,分段压裂施工工艺技术与井下分隔工具等方面取得了一定进展,但总体来讲不配套、不完善,特别是水平井分段压裂改造工艺技术和井下分隔工具方面与实际生产需求还存在较大的差距,有待进一步加大投入人力、物力攻关研究。

二、水平井压裂水力裂缝形态与优化的水力裂缝条数

水力裂缝方位垂直最小主地应力方位,因此,依据水平井井筒方向与最小主地应力方位的关系,水平井压后水力裂缝形态一般有横向裂缝、纵向裂缝和复杂裂缝三种类型。对于一口水平井,水力压裂后将形成哪一种形态的水力裂缝,取决于地应力状态与水平井井筒方位的相互关系,如果井筒平行最小主应力方向,则产生与井筒相垂直的横向裂缝,如果井筒与最小主应力方向垂直,则产生与沿井筒方向延伸的纵向裂缝(见图1)。实际上,由于地应力方位的复杂性以及射孔段长度等对裂缝起裂的影响,水平井井筒方位很难做到与最小主应力方向平行或垂直,一般存在一定角度的夹角,因此,水平井实际

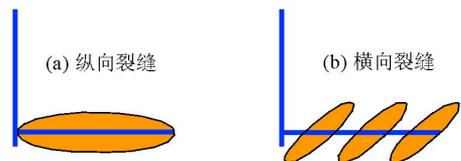


图1 水平井压裂水力裂缝形态示意图

的水力裂缝形态为经过转向的复杂的横向或纵向裂缝。

理论研究表明,水平井压后各条裂缝的流态为线性流和径向流并存的复杂流态,在生产一定时间后,水平井中多条裂缝会相互干扰,影响各裂缝的产量。因此,水平井中裂缝条数的优化非常重要,它不仅影响水平井的产能,同时也影响压裂施工的安全性和最终经济效益。研究认为,对于垂向渗透率小于或等于水平渗透率的储层,优化的横向裂缝条数为3~5条。但水平井究竟需要多少条裂缝与之匹配,须依据实际的储层状况进行优化。

三、水平井分段压裂工艺技术现状

欲在比较长的水平井井段中以较短的时间、安全地压裂形成上述优化的多条水力裂缝,且压后快速地排液,实现低伤害的水平井分段压裂,其压裂工艺技术难点在于分段压裂工艺方式选择和井下封堵工具,归纳国内外水平井分段压裂的工艺技术方法,主要分为以下四类。

作者简介: 陈作,1968年生,硕士,高级工程师,现从事低渗透油气藏增产改造方面的工作。地址:(065007)河北省廊坊市44号信箱。电话:(010)69213489。E-mail:czfats@vip.sina.com

1. 化学隔离技术

国内外在 20 世纪 90 年代初采用该技术,主要用于套管井。其基本做法是:①射开第一段,油管压裂;②用液体胶塞和砂子隔离已压裂井段;③射开第二段,通过油管压裂该段,再用液体胶塞和砂子隔离;④采用这种办法,依次压开所需改造的井段;⑤施工结束后冲砂冲胶塞合层排液求产。液体胶塞和填砂分隔分段压裂方法施工安全性高,但所使用的液体胶塞浓度高,对所隔离的层段伤害大,同时压后排液之前要冲开胶塞和砂子,冲砂过程中对上下储层均会造成伤害,而且施工工序繁杂,作业周期长,使得综合成本高,因此,该技术方法 20 世纪 90 年代初发展起来后没有得到进一步发展与推广应用。

2. 机械封隔分段压裂技术

机械封隔技术用于套管井,主要有机械桥塞与封隔器结合或双封隔器单卡分压或环空封隔器分段压裂等技术,基本分为以下 3 种。

(1)机械桥塞+封隔器分段压裂。射开第一段,油管压裂,机械桥塞座封封堵;再射开第二段,油管压裂,机械桥塞座封封堵;按照该方法依次压开所需改造的井段,打捞桥塞,合层排液求产。

(2)环空封隔器分段压裂。首先把封隔器下到设计位置,从油管内加一定压力坐封环空压裂封隔器,从油套环空完成压裂施工,解封时从油管加压至一定压力剪断解封销钉,同时打开洗井通道,洗井正常后起出压裂管柱,重复作业过程,实现分射分压。

(3)双封隔器单卡分压。可以一次性射开所有待改造层段,压裂时利用导压喷砂封隔器的节流压裂管柱,采用上提的方式,一趟管柱完成各层的压裂。

现场试验结果表明,环空封隔器分段压裂技术已成功地应用于浅层油藏,相对成熟,在深井应用中还需改进与完善。双封隔器单卡分段压裂技术容易砂卡封隔器,造成井下事故,正进一步攻关。

3. 限流压裂技术

限流压裂技术是在压裂过程中,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加而增大,带动井底压力的上升,当井底压力一旦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,它要求各个段破裂压力基本接近,可用孔眼摩阻来调节。该技术多用于形成纵向裂缝的水平井,分段的针对性相对较差。

4. 水力喷砂压裂技术

水力喷射分段改造技术是 90 年代末发展起来

的目前国外应用比较广泛的技术,其技术原理是根据伯努利方程,将压力能转换为速度,油管流体加压后经喷嘴喷射而出的高速射流(喷嘴喷射速度大于 126 m/s)在地层中射流成缝,通过环空注入液体使井底压力刚好控制在裂缝延伸压力以下,射流出口周围流体速度最高,其压力最低,环空泵注的液体在压差作用下进入射流区,与喷嘴喷射出的液体一起被吸入地层,驱使裂缝向前延伸,因井底压力刚好控制在裂缝延伸压力以下,压裂下一层段时,已压开层段不再延伸,因此,不用封隔器与桥塞等隔离工具,实现自动封隔。通过拖动管柱,将喷嘴放到下一个需要改造的层段,可依次压开所需改造井段。水力喷射压裂技术可以在裸眼、筛管完井的水平井中进行加砂压裂,也可以在套管井上进行,施工安全性高,可以用一趟管柱在水平井中快速、准确地压开多条裂缝,水力喷射工具可以与常规油管相连接入井,也可以与大直径连续油管($\varnothing 60.3$ mm)相结合,使施工更快捷,国内外已有数百口井用此技术进行过酸压或加砂压裂处理。水力喷射压裂原理示意图和拖动分段压裂示意图分别见图 2 和图 3。

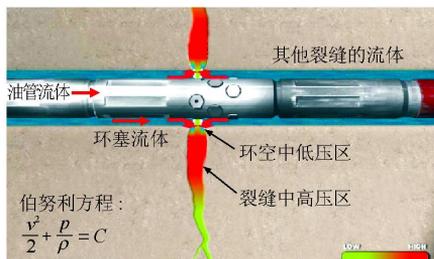


图 2 水力喷射压裂原理示意图

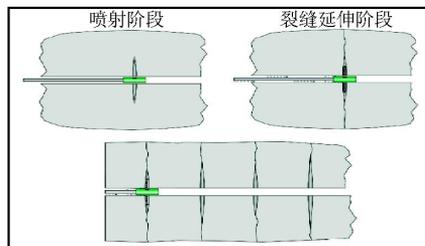


图 3 水力喷射拖动分段压裂示意图

四、发展展望

1. 水力喷射分段压裂技术

水力喷射技术可以在裸眼、筛管、甚至套管完井的水平井以及石灰岩、砂岩等不同岩性上进行分段酸压或加砂压裂,而且施工安全快捷。大力发展水平井水力喷射分段压裂技术,特别是与大直径连续油管($\varnothing 73$ mm)联作是一个总的发展趋势。

2. 新型低伤害化学暂堵胶塞分段压裂技术

在以往的技术条件下,采用的液体胶塞+填砂隔离的办法,液体胶塞浓度高,伤害封堵层,且施工结束后需冲开或钻开胶塞与砂子,又导致上下储层伤害。新型伤害化学胶塞应采用低浓度成胶剂,成胶后强度高,封堵已压层段不用填砂,成胶与破胶时间可控,压后可彻底破胶水化,施工结束后无需冲砂或钻塞等作业,直接排液求产,对地层伤害小。

3. 双封隔器单卡分段压裂技术

双封隔器单卡分段压裂技术适用用套管井的分段改造,可以一次性射开多层,采用上提管柱的方式,一趟管柱完成各层的压裂,具有改造针对性强、节省时间的优势,但需攻关解决砂卡封隔器后解卡技术。

4. 多级封隔器分段压裂技术

在双封隔器分段压裂成功的基础上发展不动管柱的多级封隔器分段压裂技术,它类似滑动套筒循环装置,液压座封可回收封隔器将每层封隔开,每个套筒内装有一个螺纹连接的球座,最小的球座装在最下面的套筒上,最大的球座装在最上部的套筒内,将不同大小的低密度球送入油管,然后将球泵送到相应的工具配套的球座内,封堵要增产处理的产层,再通过打开套筒就可以对下一个产层进行处理,最多可以对10个层进行不动管柱的分压处理。

五、结论与建议

(1)水平井水平井段分段压裂改造是获得较好效果的前提,其工艺技术难点在于分段压裂工艺方式选择和井下封堵工具。

(2)目前水平井分段压裂工艺技术方法主要有化学方法、机械方法和水力喷射等方法,比较而言,

水力喷射方法可以实现自动封堵,施工风险小,可用于裸眼、筛管与套管等完井方式,一趟管柱可进行多段压裂,缩短施工周期,有利于降低储层伤害,在国外的水平井分段压裂中得到广泛的应用,其他分段压裂技术和工具均各有优缺点,需进一步改进与完善。

(3)建议开展:①水力喷射分段压裂技术攻关研究,包括水力喷砂工具(喷嘴、喷射器等与配套工具等)、水力喷砂压裂优化设计方法与压裂施工工艺技术;②新型化学暂堵胶塞分段压裂技术研究;③双封隔器以及多级封隔器分段压裂工艺技术研究等。形成水平井分段压裂工艺技术及配套工具系列。

参 考 文 献

- [1] 谢建华. 大庆油田水平井多段压裂技术[J]. 石油钻采工艺, 1998(4).
- [2] 杨洪志. 塞平一井分段试油压裂工艺技术[J]. 石油钻采工艺, 1996(2).
- [3] 刘振宇. 人工压裂水平井研究综述[J]. 大庆石油学院学报, 2002, 26(4).
- [4] LOVE T G, MCCARTY R A. Selectively placing many fractures in openhole horizontal wells improves production[J]. SPE74331, 2001.
- [5] MCDANIEL B W. Stimulation techniques for low permeability reservoirs with horizontal completions that do not have cemented casing[J]. SPE75688, 2002.
- [6] 陈海龙, 李晓平, 李其正. 水平井段最优长度的确定方法研究[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(1): 47-48.
- [7] JAATMADJA J B. Hydrjet - fracturing stimulation process proves effective for offshore brazil horizontal wells[J]. SPE88589, 2004.

(修改回稿日期 2007-03-30 编辑 韩晓渝)