

低产液量水平井找堵水管柱的设计与应用

慕立俊, 朱洪征, 吕亿明, 王百, 李大建, 牛彩云

(低渗透油气田勘探开发国家工程实验室(中国石油长庆油田分公司油气工艺研究院), 陕西西安 710021)

摘要: 针对长庆油田致密油藏低产液量水平井利用现有测试方法无法准确找到出水层的情况, 设计了适用于不同地层压力的低产液量水平井找水测试管柱, 同时针对不同出水位置设计了桥塞卡堵水管柱和封隔器卡堵水管柱。低产液量水平井找水测试管柱在长庆油田应用 21 井次, 找水有效率 96.7%; 两种卡堵水管柱堵水在长庆油田应用 22 井次, 堵水成功率达到 81.8%。这表明, 利用所设计的低产液量水平井找水测试管柱, 能准确找出低产液量水平井的出水层段, 所设计的卡堵水管柱能对不同位置的出水层段进行机械封堵。

关键词: 水平井 采液量 找水 堵水 封隔器 桥塞 长庆油田

中图分类号: TE358⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0890(2014)01-0091-04

Design and Application of Water Detecting and Plugging Pipe String for Low Production Horizontal Wells

Mu Lijun, Zhu Hongzheng, Lü Yiming, Wang Bai, Li Dajian, Niu Caiyun

(Low-Permeability Oil and Gas Exploration and Development of National Engineering Laboratory, Oil & Gas Technology Research Institute of Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi, 710021, China)

Abstract: In viewing the problem that existing test methods can't accurately detect water production layers in low production horizontal wells in the tight reservoirs of Changqing Oilfield, water production detection strings for low production horizontal wells have been designed for different formation pressures as well as bridge plug and packer plugging string according to the different water production section. Two kinds of water test strings have been applied in 21 wells, and two kinds of water plugging strings for low production horizontal wells have been applied in 22 wells in Changqing Oilfield, with a water layer identification efficiency of 96.7% and the successful water plugging rate of 81.8%. This showed that water test string could accurately identify watered production layers, and water plugging string could effectively perform water plugging at different water production section in low production horizontal wells.

Key words: horizontal wells; fluid withdrawal rate; water locating; water shutoff; packer; bridge plug; Changqing Oilfield

长庆油田三叠系油藏储层致密, 单井产液量相对较低。采用水平井开发, 虽然可以较大程度地改善低渗透油藏的开发效果, 提高采收率^[1], 但随着水平井应用力度的加大及生产时间的延续, 由于受储层裂缝发育和注水开发的影响, 水平井见水后含水率快速上升, 严重影响了水平井的开发效果。为了控制水平井含水率的上升速度, 首先要找出水平井的出水层段。目前水平井找水测试方法主要有产液剖面测试、中子寿命测试和中子氧活化水流测井³

种, 这 3 种测试方法均是通过放置测试仪测取其周围位置液体的含水率及监测各层段的流量和含水率。由于长庆油田水平井的日产液量只有 5~

收稿日期: 2013-03-10; 改回日期: 2013-12-10。

作者简介: 慕立俊(1969—), 男, 1992 年毕业于石油大学(华东)采油工程专业, 2011 年获西安交通大学材料科学与工程专业博士学位, 高级工程师, 主要从事采油工艺研究及管理工作。

联系方式: (029)86590692, zhz10_cq@petrochina.com.cn。

20 m³,流速较低,而在流速较低的情况下,水流在水平状态下存在层流现象,采用上述3种测试方法不但无法准确找到出水层,而且测试成本较高。为实现低渗透低产液量水平井技术配套,进一步提高水平井开发效果,笔者针对长庆油田水平井产液量低的特点,设计了适合于长庆油田水平井特点的水平井分段生产找水测试管柱和机械堵水管柱。

1 长庆油田注水开发油藏见水简析

三叠系低渗透油藏在长庆油田分布范围较大,水平井产液量较低,依靠注水开发补充能量,水平井见水不可避免,部分井在生产过程中见水,个别井试油投产初期见水。受制于水平井的特殊井身结构,水平井见水后如不采取措施,含水率上升很快,产油量明显下降,甚至发生水淹,严重制约着水平井的整体开发效果。受水平井周围对应注水井位置、注水时机以及储层裂缝(人工裂缝与天然裂缝)方向等因素的影响,主要表现为趾部、中部、跟部单点出水和多点出水。见水规律主要有以下3种:1)人工裂缝与井筒的锐角夹角越小,越容易见水;2)人工裂缝与注水井距离越短,累计注入量越大,对应喷点越容易见水;3)两端、两侧注采对应的水平井,两侧注水井易与中部裂缝沟通。

2 低产液量水平井分段找水测试管柱

长庆油田见水水平井采用套管完井、分段压裂改造^[2],产液量相对较低,要求找水管柱的密封性和安全性高,以确保测试管柱下得去、封得住、起得出。为此,设计了可保证水平井段多级封隔、可智能依次换层生产,通过监测各段的产液量和含水率,实现低产液量水平井分段找水测试的2种管柱:“皮碗封隔器+智能开关”找水测试管柱和“Y441封隔器+智能开关”找水测试管柱。

这2种管柱自下而上由皮碗封隔器(Y441封隔器)、智能开关器、扶正器及过桥泵(杆式泵)等组成(见图1)。智能开关器^[3]主要由桥通体和开关器芯体2部分组成。“皮碗封隔器+智能开关”找水测试管柱采用皮碗封隔器^[4]封隔不同层段,起钻时没有解封负荷;采用由微电脑控制的智能开关器控制井下开关阀定时打开或关闭^[5],开关可靠,一趟管柱就能完成生产及测试找水,适用于地层压力小于10 MPa的水平井。“Y441封隔器+智能开关”找水

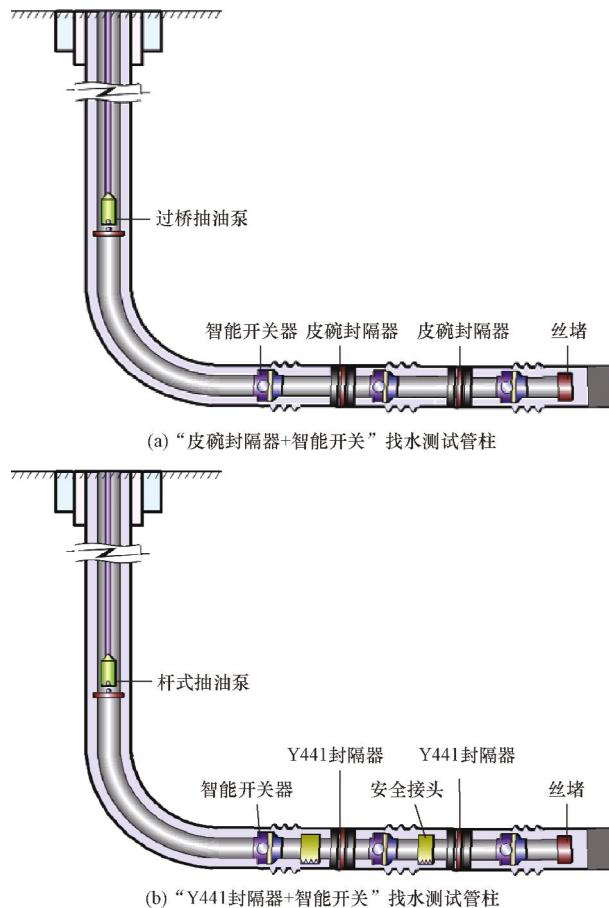


图 1 找水测试管柱基本结构

Fig. 1 Sketch of water test string

测试管柱采用逐级解封、承压能力25 MPa、耐温120 °C的Y441压缩式封隔器封隔不同层段,适用于地层压力大于10 MPa的水平井。

作业时按图1所示顺序将管柱连接好入井,下至设计位置后坐封封隔器。利用封隔器将水平井射孔段封隔开,每个测试层段都设有智能开关器,在地面设定智能开关器的采集时间,在井下由微电脑发出指令,打开或关闭开关阀,保证一个时间段有一个开关器打开,抽油机连续生产,以便取样分析含水率,通过各层段产出液的含水情况确定出水层。

这2种管柱都通过智能开关器实现不同目的层的自动切换。“Y441封隔器+智能开关”找水测试管柱逐级解封Y441封隔器,解决了双卡瓦封隔器水平井段打捞的难题,并实现了一趟管柱即可完成至少3段的找水作业。

这2种管柱是针对目前长庆油田所用找水工艺存在现场操作中受制于产液量低,常规产液剖面测试技术无法应用、测试费用高而提出的,具有施工操作方便、配套工具结构简单、工具密封可靠、现场可操作性较强等特点。

3 水平井堵水管柱

针对长庆油田水平井为套管射孔完井、注水开发和见水规律,采用机械卡封方式卡封出水层段,消除出水层对产油段的抑制,恢复油井产能。同时考虑注入水绕流问题,设计了 2 种适应不同位置出水的水平井机械卡堵水管柱:桥塞卡堵水管柱和封隔器卡堵水管柱。桥塞卡堵水管柱适用于裂缝与井筒垂直、趾部单点出水的水平井。封隔器卡堵水管柱适用于裂缝与井筒垂直、中部或跟部单点出水的水平井。

由于通过旋转、上提下放坐封的封隔器在水平段无法实现坐封,而无支撑卡瓦封隔器封堵有效期短,2 种堵水管柱均采用了具有双向卡瓦结构的液压封隔器和桥塞。

3.1 桥塞卡堵水管柱

在油田生产过程中,对于水平井趾部单点出水可采用桥塞卡堵水管柱封堵。桥塞卡堵水管柱由生产管柱和卡封管柱 2 部分组成(见图 2)。该管柱采用承压 35 MPa、耐温 120 ℃以上的双向卡瓦支撑的桥塞封堵水平段趾部出水层段,适合水平段固井质量良好无管外窜通的水平井。当趾部为高含水层时,下入桥塞,可将其封堵,开采中部和跟部。

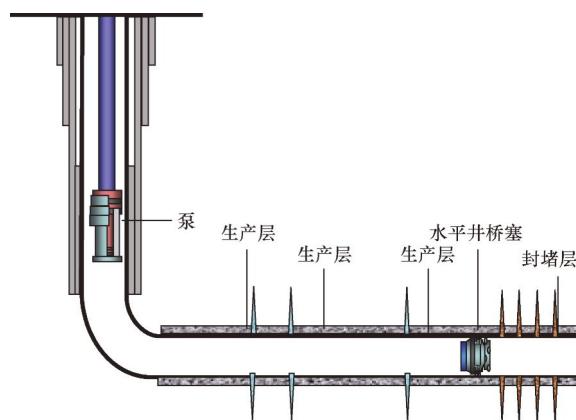


图 2 桥塞卡堵水管柱

Fig. 2 Bridge water plugging string

施工时,首先下入验窜试挤管柱,验证段间或管外窜通情况,并求吸水指数,确定挤注压力。若层间、管外无窜通,则下入可捞式桥塞。调整好桥塞封堵位置后,小排量缓慢向油管内注水加压,当压力达到 8, 15, 20 和 22 MPa 时,分别稳压 5 min。当压力达到 22 MPa 时,在管柱自重基础上上提 20 kN,确定桥塞是否坐封,若已坐封,保持上提力继续加压至

25 MPa,可实现桥塞坐封、丢手。管柱上提 2 m,下压 50~100 kN,检验桥塞是否发生移动,如无移动则说明桥塞已完全坐封,起出油管及丢手部分。

3.2 封隔器卡堵水管柱

当水平段中(跟)部水淹或误射中(跟)部水层后可在水平段中(跟)部下入封隔器^[6],形成封隔器卡堵水管柱(见图 3),隔离封隔器上部的出水层,抽汲封隔器下部的层段。封隔器卡堵水管柱管柱由 Y445 封隔器、Y441 封隔器^[7]、单流阀、筛管和抽油泵组成。

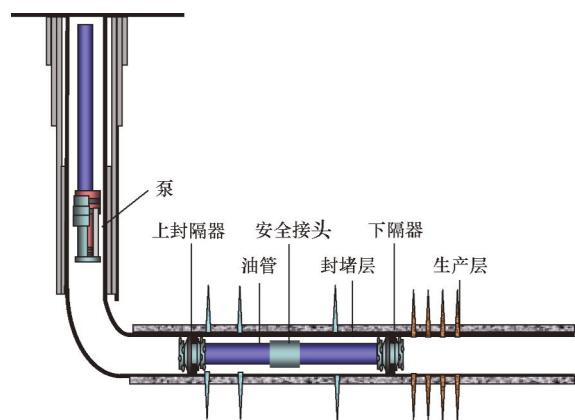


图 3 封隔器卡堵水管柱

Fig. 3 Packer water plugging string

施工时,用一趟管柱将工具一起下至井中,用 2 个封隔器将水层隔开。向油管内注水加压,当压力达到 5, 10, 15 和 20 MPa 时,分别稳压 5 min。当压力达到 22~25 MPa 时泄压,送封工具丢开,封隔器坐封完成,提出送封工具即可下入抽汲管柱进行抽油作业,在检泵时提出抽汲管柱,堵水管柱仍留在井中。

封隔器卡堵水管柱具有结构简单、密封可靠、易于施工及可实现大跨距封隔的特点。

4 现场应用

4.1 水平井分段找水

“皮碗封隔器+智能开关”找水测试管柱和“Y441 封隔器+智能开关”找水测试管柱不受油井产液量的影响,能满足不同区块、不同改造段数的分段生产水平井的测试找水。目前,这 2 种测试找水管柱已累计在长庆油田应用 21 井次,找水有效率 96.7%。分析测试结果发现,长庆油田水平井的见水模式主要表现为单点见水和多点见水,其中以多

点见水为主。

长平 5 井压裂改造 3 段,投产初期日产液 11.3 m^3 ,日产油 9.11 t ,含水 5%。2011 年 7 月含水率升至 65%,后又突然升至 100%。2012 年 8 月 27 日至 9 月 20 日,采用分段找水测试管柱进行测试找水,结果是该井全井段见水,其中喷点 3 含水 100%,喷点 1 和喷点 2 的含水率在 40% 左右。

4.2 水平井机械堵水

截至目前,桥塞卡堵水管柱和封隔器卡堵水管柱已应用 22 井次,其中应用桥塞卡堵水管柱封堵趾部出水 17 井次,应用封隔器卡堵水管柱封堵中(跟)部出水 5 井次,成功率达到 81.8% 以上。

长平 6 井压裂改造 6 段,采用超前注水,初期日产液 26.08 m^3 ,日产油 19.93 t ,含水 9.1%。2010 年 5 月含水率上升,调整注水无效。利用分段找水测试管柱进行测试找水,结果是该井喷点 1、2 水淹,喷点 5、6 中度水淹,喷点 3、4 未见水。该井于 2012 年 1 月应用桥塞堵水管柱封堵水淹喷点 1、2 后,含水率由 100% 降至 61.7%,有效期 128 d,累计增油 137 t。

长平 7 井压裂改造 12 段,压裂改造后试油结果显示:趾部喷点 1 至喷点 6 日产油 61.4 t ,不产水;跟部喷点 7 至喷点 12 日产油 4.2 t ,日产水高达 15.6 m^3 。于是采用封隔器卡堵水管柱封堵跟部喷点 7 至喷点 12 出水层段,封堵出水层段后,投产日产油 3.25 t ,没有水产出,无水采油期达 366 d。

5 结 论

1) 针对长庆油田出水层段不明确的低产液量水平井,设计了低产液量水平井分段找水测试管柱,实现了低产液量水平井分段动态监测。

2) 针对水平井趾部、中部和跟部单点或多点出水的情况,设计了适应不同出水位置的水平井机械卡堵水管柱,实现了无管外窜通水平井单点或多点出水的机械封堵。

3) 封隔器堵水管柱不但可以满足堵水抽油的要求,而且在检泵时无需提出堵水管柱,可减少作业费用。

4) 低产液量水平井分段找水测试管柱是针对长庆油田致密低渗透油藏低产液量水平井的出水情况而设计的,基本满足了长庆油田水平井测试找水的需求,但由于测试周期仍较长,测试效率相对较低,需要进一步开展水平井快速机械找堵水技术研究。

参 考 文 献

References

- [1] 张琪. 采油工程原理与设计[M]. 东营: 石油大学出版社, 2000: 407-411.
Zhang Qi. Fundamentals and design method of petroleum production engineering[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2000: 407-411.
- [2] 熊友明, 刘理明, 张林, 等. 我国水平井完井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(1): 1-6.
Xiong Youming, Liu Liming, Zhang Lin, et al. Present status and development comments on horizontal well completion techniques in China[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(1): 1-6.
- [3] 王百, 黄伟, 吕亿明, 等. 旋转活塞控制式智能开关器的研制与应用[J]. 石油矿场机械, 2011, 40(11): 47-50.
Wang Bai, Huang Wei, Lv Yiming, et al. Development and application of rotary piston control type intelligent switcher[J]. Oil Field Equipment, 2011, 40(11): 47-50.
- [4] 蔡国兴, 辛林涛, 谷开昭, 等. ZF 皮碗封隔器及其应用[J]. 钻采工艺, 1999, 22(2): 50-52, 6.
Chai Guoxing, Xin Lintao, Gu Kaizhao, et al. ZF cup packer and its application[J]. Drilling & Production Technology, 1999, 22(2): 50-52, 6.
- [5] 李光前. 电控机械找堵水工艺技术研究[J]. 石油矿场机械, 2010, 39(5): 43-45.
Li Guangqian. Study of electrical-mechanical water detection and shut off technique[J]. Oil Field Equipment, 2010, 39(5): 43-45.
- [6] 陈宁. 吉林油田水平井机械找堵水技术研究与应用[D]. 大庆: 东北石油大学石油工程学院, 2012.
Chen Ning. Study and application of machinery finding and shutting off water technology for horizontal wells in Jilin Oilfield[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, College of Petroleum Engineering 2012.
- [7] 宋显民, 张立民, 孙成林, 等. 水平井采油配套技术研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2): 111-114.
Song Xianmin, Zhang Limin, Sun Chenglin, et al. Study on horizontal well matching technology for oil recovery and its application[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(2): 111-114.

[编辑 刘文臣]