

文章编号:1009-9603(2018)06-0001-06

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2018.06.001

# 胜利油田分层注水工艺技术研究与实践

王增林

(中国石化胜利油田分公司,山东 东营 257000)

**摘要:**胜利油田经过50多年开发,水驱油藏已进入特高含水期,综合含水率为92.6%,采出程度为26.2%,特高含水、高采出程度条件下提高开发质量对注水技术提出了更高的要求。提高注水“三率”是改善水驱开发质量的关键。针对胜利油田水驱油藏提高注水“三率”的制约因素及前期分层注水工艺技术应用和效果分析,结合胜利油田不同油藏、不同井状和不同工况等注水开发特征对分层注水提出的需求,开展了提高分注率、层段合格率的关键技术研究,实现不同油藏、不同井况标准化管柱的集成化配套。对现场优选“三率”具有提升潜力的水驱开发区块进行规模化推广应用,在工程上提高了整装油藏、断块油藏、低渗透油藏的“三率”指标,在油藏上进一步提升了注采对应率,降低了自然递减率,改善了水驱开发效果。

**关键词:**分层注水 注水“三率” 技术改进 标准化 规模应用

**中图分类号:**TE357.6

**文献标识码:**A

## Research and practice of separated layer water injection technology in Shengli Oilfield

WANG Zenglin

(Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257000, China)

**Abstract:** After more than 50 years of development in Shengli Oilfield, waterflooding reservoirs have entered extra-high water cut period with 92.6% of composite water cut and 26.2% of recovery degree of reserves. The extra-high water cut and higher recovery degree require better water injection technology. The key of improving the quality of waterflood development is to improve the “triple rate” of the water injection. According to the constraints of “triple rate” and the analysis of the effects of separated layer water injection technology at early stage in the water flooding reservoirs of Shengli Oilfield, combined with the requirements of the waterflood development characteristics of different reservoirs, wells and working conditions, key technologies of improving the separated layer injection rate and the pass rate of the strata were researched to achieve the integrated support of standardized strings for different well conditions in different reservoirs. It was applied to the optimized water flooding blocks that have potential of improving “triple rate” with scale popularization. The “triple rate” indicator for the integrated oil reservoir, fault block reservoir and low-permeability reservoir was improved from the aspect of engineering, and the injection-production corresponding rate was further improved in the reservoir. The natural decline rate reduced and the waterflood development effect was improved.

**Key words:** separated layer water injection; “triple rate” of water injection; technology improvement; standardization; scale application

胜利油田水驱动用储量占油田总储量的79%以上,年产油量占总产油量的74.3%以上,采出程度为26.2%,是油田开发的主阵地。目前大多已经进

入特高含水期,综合含水率达92.6%,进一步提高水驱开发质量是油田持续发展的关键。影响水驱开发质量的因素主要有2个方面:一是从平面上看,套

收稿日期:2018-07-14。

作者简介:王增林(1964—),男,山东潍坊人,教授级高级工程师,博士,从事油田开发方面的研究与管理工。联系电话:(0546)8552750, E-mail:wangzenglin.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水期提高采收率技术”(2016ZX05011-004),中国石化重点推广项目“老油田精细注水技术集成配套及规模应用”(P17056-10)。

损、套坏注水井多,导致注采井网不完善,水驱储量失控<sup>[1]</sup>。二是地层非均质性严重造成驱替不均衡。近年来,以提高水驱开发质量为目标,围绕提高注水“三率”<sup>[2]</sup>,强化提高分注率和层段合格率关键技术的攻关与配套,分层注水技术系列得到进一步提高和完善,形成标准化分层注水管柱和规范化技术管理,同时强化分层注水技术规模化应用,注水“三率”大幅度提高,水驱开发取得了良好效果。

## 1 分层注水技术现状

胜利油田水驱油藏类型多样,包括整装、断块、低渗透和海上等,主要分布于胜坨、孤东和孤岛等67个油田的969个开发单元。截至2014年底,胜利油田共有注水井9 953口,分注井3 792口,分注率为38.1%。“十二五”期间,胜利油田水驱油藏应用的分层注水技术主要有常规悬挂分层注水、锚定补偿分层注水、补偿防蠕动分层注水、锚定防蠕动分层注水、双管分层注水、分层防砂分层注水一体化、小直径分层注水、细分注水、测调一体化分层注水和分层酸化分层注水一体化等。其中常规悬挂分层注水技术应用1 374口,锚定补偿分层注水、补偿防蠕动分层注水和锚定防蠕动分层注水技术共应用631口,双管分层注水技术应用185口,测调一体化分层注水技术应用1 203口。从封隔器类型来看,目前主要应用扩张式和压缩式2种,应用井数分别为2 032和1 746口,分别占分隔器应用总量的53.6%和46%,扩张式封隔器略多于压缩式封隔器。分析配水器类型发现,目前主要应用空心式和偏心式2种,应用井数分别为2 360和1 049口,分别占配水器应用总量的62.2%和27.7%,以空心式配水器为主。从分注层数来看,分注1层的有219口,分注2层的有2 789口,分注3层的有705口,分注3层以上的有79口,以分注2层为主。

## 2 提高分注率关键技术

通过技术攻关,形成了高温高压密封技术、封隔器精确定位技术、锚定补偿技术、小直径大膨胀比密封技术等提高分注率的关键技术。

### 2.1 高温高压密封技术

胜利油田低渗透油藏埋深大于3 500 m,温度达140~160 ℃,注水压力达35 MPa,属于典型的高温、高压条件下的分层注水。对于该类油藏,胜利油田一般采用压缩式封隔器,胶筒为其核心部件,其密

封原理是利用机械力或液压力压缩胶筒变形形成密封油套的环形空间,密封质量取决于井壁与胶筒之间接触应力,所以保持较高的接触应力是确保密封的先决条件。但是,因为封隔器胶筒肩部在坐封过程中会被挤入套管与封隔器的环形间隙中,并且橡胶材料随着环境温度的升高,其力学性能和断裂伸长率均会下降,使封隔器耐压性能减弱,易撕裂胶筒导致分层注水失效。因此,必须改进封隔器胶筒的材料和结构。

**胶筒材料** 以氢化丁腈橡胶为胶筒基础密封材料,采用丙烯酸盐和炭黑复合增强体系为添加剂,在硫化反应过程中使之发生均聚、接枝共聚和脱羟基反应,提高橡胶分子主链的饱和度,胶筒抗老化性能增强,耐温提高到150 ℃<sup>[3]</sup>,力学性能得以改善和增强。

**胶筒几何结构** 通过有限元分析,对胶筒及辅助部分进行非线性数值分析,优化胶筒高度、厚度、倒角和护罩几何尺寸,设计肩部保护式(图1a)和压缩自封式(图1b)2种密封结构。这2种结构均能够提高和保持胶筒在高温条件下的接触应力,使封隔器密封压差提高到35 MPa以上,工作寿命延长1.5倍,达3 a以上,实现了长期有效密封。

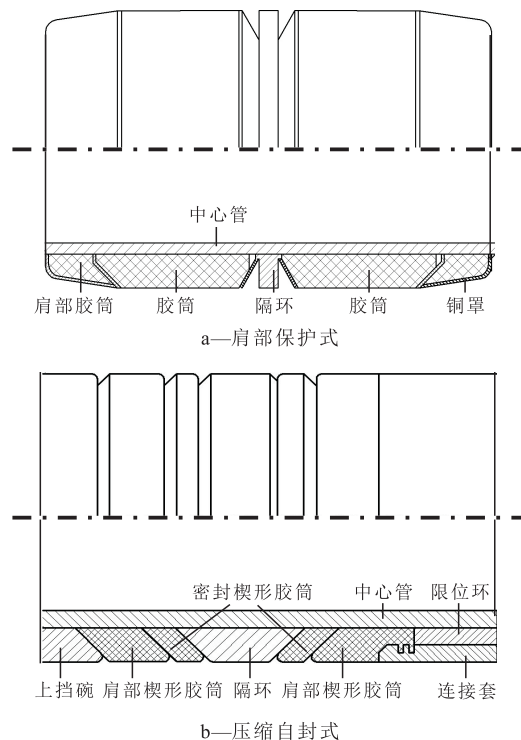


图1 封隔器胶筒结构示意图

Fig.1 Diagram of rubber structure of packer

### 2.2 封隔器精确定位技术

胜利油田进入特高含水开发期后,随着精细划分技术的不断进步,老油田开发的主要潜力已由层

间转为层内、由主力油层转为非主力的多薄差层和大厚层内韵律层。韵律层和薄差层层间夹层薄,使得卡封距小,分层困难。统计结果表明,胜坨油田由于隔层、卡封距小无法实现分层的注水井共有274口,其中卡封距小于1 m的有142口。因此,需要配套精确定位与卡封技术,才能实现有效分层。常规作业时,封隔器定位均为人工测量,误差较大,按井深2 500 m计算,其测量误差为 $\pm 0.5$  m,油管自重伸长造成的误差为0.5 m,两者累积误差为 $-0.5\sim 1.0$  m,当层间距小于1 m时,封隔器有可能错位卡在油层上,造成分层注水失效,导致部分多层系油藏无法实施分层注水。

采用井下机械定位工具与井口激光测距拉力仪组合,通过上提下放找到测试短套管的位置,再与设计的完井注水管柱比对,计算其相对位置,确定需要下入油管的长度,从而实现封隔器精确定位,误差小于0.12 m,满足了多薄层油藏夹层厚度小于1 m的精细卡封需求。该技术的优势在于管柱卡封和定位一体化,与磁定位技术相比,不需要测试车,且减少一趟下井工序,节约占井时间和施工成本。

### 2.3 锚定补偿技术

注水井注水过程中包括作业、洗井、坐封、注水、测试和解封等工作状态,在整个寿命期内,这些工作状态会相互转换,分层注水管柱在不同工作状态下产生不同的温度、压力效应,使管柱长度发生变化而产生蠕动趋势。在不锚定的情况下,不同工作状态对封隔器位置的影响不同(图2),坐封时压力较高引起管柱伸长;反洗井时压力和温度降低,致使管柱缩短。管柱伸长或缩短会导致封隔器与套管产生相对运动,当管柱伸缩力大于封隔器胶筒与套管的摩擦力时,封隔器与套管之间发生相对运动,造成封隔器密封失效。当管柱产生的纵向力大于胶筒的抗扯断力极限时,会撕裂胶筒造成封隔器

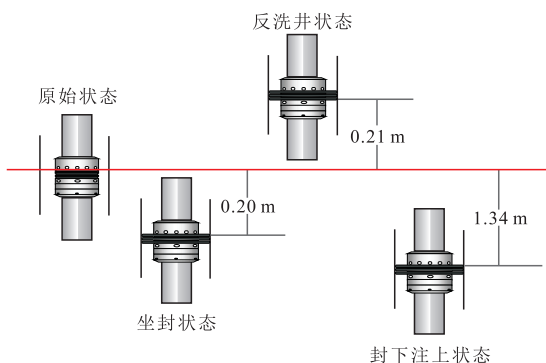


图2 温度和压力效应对封隔器位置的影响示意

Fig.2 Effect of temperature and pressure on the position of packer

密封失效,为此研究了注水管柱锚定补偿技术<sup>[4]</sup>。

注水管柱锚定补偿技术采用两级锚定强制固定封隔器卡封位置,采用补偿器消除上部管柱因温度、压力效应对锚定的影响。管柱整体采用防腐、防垢处理,优化了锚定工具的易解卡机构,提高了管柱性能和安全可靠,有效工作寿命达到3 a以上。

### 2.4 小直径大膨胀比密封技术

随着开发年限的增长,注水压力的作用和注入水对地层的冲刷,造成套管工况发生变化,致使胜利油田每年新增套变注水井400多口,严重影响分层注水工艺的実施。针对套变以及套变修复井形成的各种井况,研究设计了小直径大膨胀比密封技术,由骨架钢丝和五层帘布共同构成,材料采用改性丁腈橡胶,密封方式设计为扩张式,同时在胶筒两端设计了双移动机构,达到了膨胀比为1.4以上、耐压为35 MPa、疲劳次数超过100次的技术指标,扩张式胶筒密封技术已经形成了适用于套管规格分别为3 $\frac{1}{2}$ 、4、4 $\frac{1}{2}$ 和5 in的小直径封隔器工具系列,实现了套变井、套变修复井的分层注水<sup>[5]</sup>。

## 3 提高层段合格率关键技术

影响层段合格率的主要因素包括3个方面:①常规测调工艺效率低、精度低。②层间压差大造成调配难度大、精度低,当注水压差大于5 MPa时,其调配难度大、有效期短,导致大压差井的层段合格率仅为37%左右,远低于胜利油田分注井的平均层段合格率。③低渗透及堵塞造成欠注层多,达到了1 570层,严重制约了层段合格率的提高。

针对提高层段合格率,重点开展了3项技术的攻关研究:测调一体化技术、大压差分级节流控制配水技术和表面活性剂降压增注技术。

### 3.1 测调一体化技术

常规注水井测调包括2步:第1步,测试。将存储式流量计下到测试位置后,利用降压法进行调点测试,测试完毕后,通过地面数据处理系统,得到各层的吸水量和吸水能力。第2步,调配。采用钢丝绳投捞水嘴的方式进行逐层投捞,工作量大且成本高。1口分注3层的井达到配注要求,一般需要测调2~3 d。而分注井要求每季度测调一次,工作量大,测调不及时会导致分注层段达不到配注要求,影响层段合格率,为此研究了注水井测调一体化技术<sup>[6]</sup>。

注水井测调一体化技术采用电缆携带测调仪与井下可调配水器对接,通过地面仪器监测流量和

压力,将监测结果与各层配注量进行比对,若与配注量不匹配,可向井下测调仪发出指令调整水嘴开度,实现边测边调,使注水量达到配注量<sup>[7]</sup>。测调一体化可调配水器采用同内径设计,实现了分注层数不受限制和流量无级调节,测调仪一次下井可完成所有目的层测调,流量测量范围为0~500 m<sup>3</sup>/d,温度为120 ℃,压力为60 MPa。针对不同油藏需求,目前形成了空心 and 偏心2个技术系列,两者不同之处在于:前者采用空心可调配水装置和空心一体化测调仪,后者采用偏心配水器、偏心可调堵塞器和偏心一体化测调仪;工具和仪器具体结构不同,但测调工艺相同。

与常规投捞式测调技术相比,注水井测调一体化技术具有以下优点:①测调效率提高,3层分注井由常规测调起下8趟减少为2趟,平均测调时间由60 h缩短为5 h。②实现测试过程的可视化,能直接监测井下流量和压力。③水嘴实现无级连续调节,流量控制精度高,误差小于等于5%。

### 3.2 大压差分级节流控制配水技术

对于2层以上大压差分注井,由于低渗透层与高渗透层吸水差异较大,要同时达到合格注水,必须在提高注水压力的前提下,对高渗透层实施节流降压,控制节流难度加大<sup>[8]</sup>。从现场跟踪情况看,采用直径小于1.2 mm的水嘴注水易被堵塞,采用直径大于1.4 mm的水嘴又会超注,现有配水技术不能有效地控制高渗透层的注水量,水嘴堵塞、刺坏现象严重,极大地影响了注水合格率。

为实现大压差井有效配水,对大压差分级节流控制配水技术进行了研究,设计了压差分级节流配水器和预节流防刺配水器<sup>[9-10]</sup>。2种配水器均采用节流管或水嘴增加摩阻提高节流压差的原理,从而平衡高低压层间注水压差。对高效节流机构进行流场仿真优化,对实时调节机构进行SIMULINK与ADAMS联合仿真优化(图3),根据流量,设计了I—V圈5个类型节流管,当配注量为150 m<sup>3</sup>/d时,

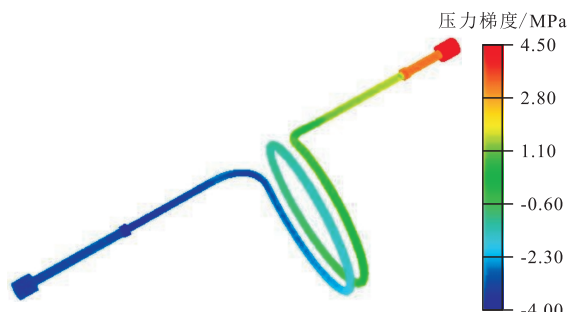


图3 流量为50 m<sup>3</sup>/d时直径4 mm II圈节流管压力仿真结果  
Fig.3 Simulation results of pressure for 4 mm-diameter throttle tube at flow rate of 50 m<sup>3</sup>/d

可以实现层间最大压差为12 MPa的精确分层配注。大压差分级节流控制配水技术可有效解决层间吸水差异较大的分注井高渗透层超注的难题,提高高层段合格率。

### 3.3 表面活性剂降压增注技术

低渗透油藏由于受储层物性和敏感性等影响,在注水过程中,地层渗流阻力大,近井地带驱替能耗损失率高<sup>[11]</sup>,导致井口需求注水压力高、注水困难,欠注严重。胜利油田低渗透油藏日欠注量达1.1×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,导致低渗透层段合格率较低,不能及时有效补充地层能量,严重制约了低渗透油藏的采油速度及采收率,因此开展了低渗透油藏表面活性剂降压增注技术研究。

低渗透油藏表面活性剂降压增注技术主要包括杂双子活性降压增注技术和分子膜降压增注技术。杂双子活性降压增注技术可以分散水中的油滴,提高原油通过喉道的流动能力,主要解决储层中乳化油造成的堵塞和油层伤害问题<sup>[12]</sup>。分子膜降压增注技术利用分子膜增注剂与岩石壁面静电引力,在岩石表面竞争吸附自组装成分子膜,使水湿岩石表面润湿角达到75°~90°,表面张力小于等于28 mN/m,防膨率大于90%,耐温达120 ℃,耐盐达40 000 mg/L,通过消除岩石壁面水膜和改变润湿性等来扩大有效渗流通道、降低注水摩阻<sup>[13]</sup>,从而达到降低注水压力、增加注水量和提高层段合格率的目的。

## 4 不同油藏分层注水标准化管柱和技术系列

在关键技术取得突破的基础上,针对整装油藏韵律层细分需求、断块油藏强非均质性和层间干扰加剧<sup>[14]</sup>、大压差分注井和低渗透油藏高温高压分层注水需求,通过分类整理和技术指标适应性分析,形成了适用于不同油藏、不同井况、不同工况的7套标准化分层注水管柱(图4),即常规标准注水管柱、锚定补偿管柱、吐聚防返吐管柱、大压差分级节流管柱、分质分压注水管柱、分防分注注水管柱和套损套变小直径注水管柱。这些技术可实现油藏温度为150 ℃、油藏埋深为4 000 m、井斜斜度为60°、夹层厚度为1 m、最小卡封距为2 m、层数为7层、层间压差为12 MPa、注水压力为35 MPa、套管规格从3½ in到9⅝ in条件下的分层注水,为提高胜利油田分注率和层段合格率奠定了技术基础。

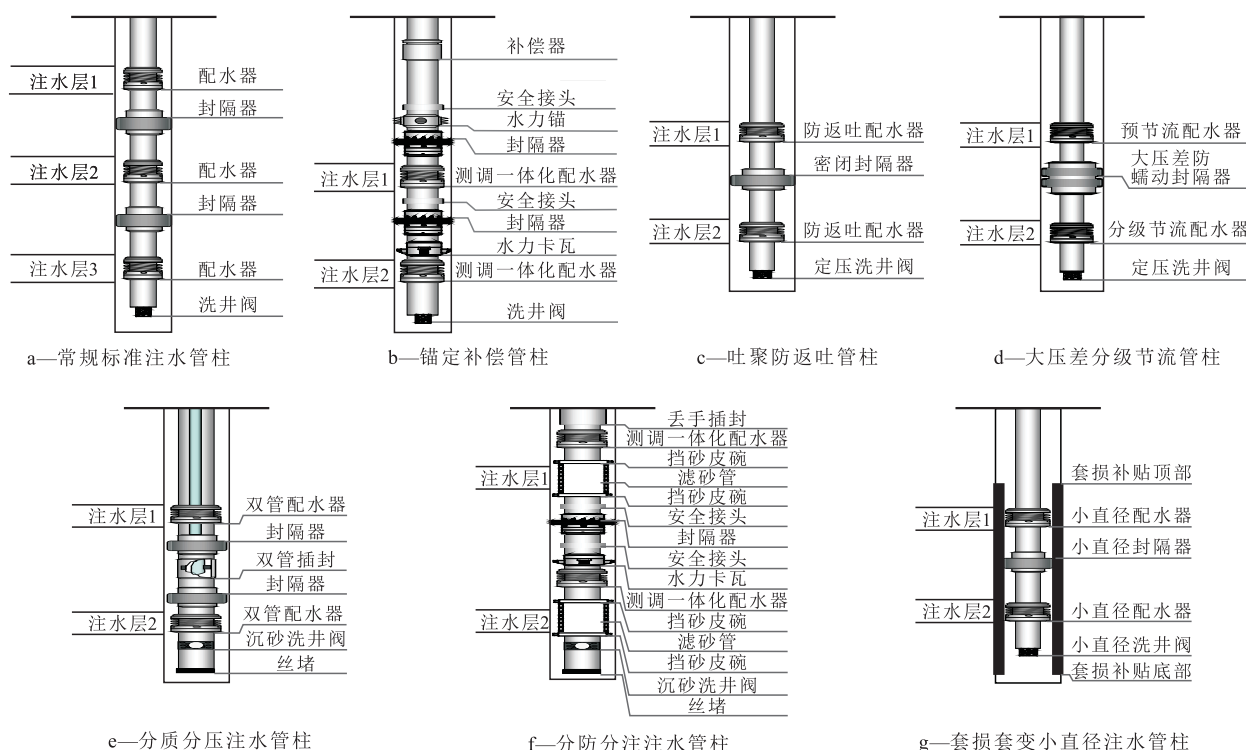


图4 7套标准化分层注水管柱

Fig.4 Seven sets of standardized separated layer water injection strings

## 5 分层注水技术规模化实施效果

为做好分层注水技术的规模化推广,制定《分层注水井技术管理规范》、《分层注水井作业管理规范》和《注水井洗井管理规范》3个管理规范。充分利用重大设计优化平台,由专家组进行分注设计优化;对分层注水工作实施标准化管柱、标准化测调、标准化检验和标准化运行四标管理;利用产能建设、一体化治理和水井作业等平台对分层注水技术进行规模化应用。“十二五”以来,累积实施分层注水技术4 162井次,对比“十一五”,分注井数增加1 692口,分注率提高13.1%,层段合格率达6%,注采对应率提高5.5%。“十三五”近2 a来累积实施分层注水技术1 856井次,分注井数比“十二五”末增加1 181口,达到4 657口,分注率为44.9%,细分井为1 217口,细分率为26.1%,注水指标大幅提高。

2017年在不同类型油藏累积实施分层注水技术947口,其中整装油藏412口,断块油藏378口,低渗透油藏122口,海上油田35口。据不完全统计,不同类型管柱推广应用情况如下:标准注水管柱1 486口,防返吐管柱395口,锚定补偿管柱883口,大压差分级节流管柱67口,精细分注管柱158口,分层注聚管柱86口,分层防砂分注一体化管柱134

口,小直径管柱25口,分质分压管柱22口,配套实施低渗透油藏表面活性剂降压增注技术65口。技术指标再创新高,最大井深为3 494.6 m,最高温度为137℃,最大井口注水压力为32 MPa,最小夹层厚度为1.2 m,分注层数为7层,最大层间压差为11.5 MPa,最小套管内径为76 mm。截至2017年底,测调一体化井2 523口,占总井数的54.2%,平均单井测调节约时间约为55 h,层段合格率达80.1%,比常规测调井提高5.9%。实施范围覆盖整装、断块和低渗透油藏,重点措施是整装油藏多级细分,解决出砂吐聚问题,立体重整断块油藏,突破低渗透油藏高温高压分层注水技术。例如老油田一体化治理实现水驱技术最高程度集成,强化分层注水技术、油藏与地面的一体化优化、一体化设计、一体化实施,累积治理36个区块,石油地质储量为 $3.98 \times 10^8$  t,取得了显著治理效果。通过一体化治理,水井的分注率由治理前的32.9%升至46.7%,提高了13.8%;水驱动用程度由62.4%升至80.1%,提高17.7%;自然递减率由16.5%降至10.4%,下降了6.1%;采收率由32.0%升至34.8%,提高了2.8%。

## 6 结论

为了夯实水驱油藏稳产基础,结合油藏需求,

力保有效注水,在强化油藏工作的基础上,加强分层注水技术推广模式创新,实现其规模化应用,整体提升注水“三率”,为提高注水开发效果提供技术支撑,同时强化分注技术“三规范、四标准”,确保分注实施效果,为提升水驱开发质量奠定基础。

2017年胜利油田分注井已达到4 657口,按照目前每个季度进行测调一次的要求,现场测调工作量很大,每年超过15 000井次,仍然需要大量的测试队伍和设备,测调成本高。为此需要研制智能测调分层注水技术,从而实现不同井况下的无线测控,现场调配测试“零”工作量,进一步提高层段合格率和注采对应率。

水驱油藏的存量是油田开发的主体,低油价下经济优势更加突出,是保效增效的主阵地,胜利油田将强化主导技术完善与创新,尤其是加强分层注水技术优化,实现管柱长寿长效。综合开展水质、管柱、防砂、调配和安全控制等技术的适应性评价研究,进一步从管柱受力、管柱结构、胶筒材质及防腐措施等方面优化集成,提高工作可靠性,使管柱寿命从3 a延长至5 a以上,形成适合胜利油田的长效安全注水技术。实现水驱油藏分注存量增效,增量创效,进一步夯实水驱稳产基础。

#### 参考文献:

- [1] 罗福全,侯健,祁绍献,等.高含水期井损对高渗透油藏开发效果的影响[J].油气地质与采收率,2015,22(1):106-110.  
LUO Fuquan, HOU Jian, BING Shaoxian, et al. The influence of well loss on development effect in the high permeability reservoir at high water cut stage[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 106-110.
- [2] 陈祥.浅谈水驱单元提高注水井“三率”的方法[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2015,7(15):261.  
CHEN Xiang. Discussion on the method of improving the “triple ratio” of water injection wells in water flooding unit[J]. Chinese Science and Technology Periodical Database (Citation Version) Engineering Technology, 2015, 7(15): 261.
- [3] 安百新,杨柳,聂文龙.油水井耐高温高压复合橡胶长效密封技术[J].中国石油和化工标准与质量,2016,36(22):113-114.  
AN Baixin, YANG Liu, NIE Wenlong. Long-term sealing technology for high temperature and high pressure rubber composites for oil and water wells[J]. China Petroleum and Chemicals Standard & Quality, 2016, 36(22): 113-114.
- [4] 王增林,崔玉海,郭海莹,等.锚定补偿式分层注水管柱研究及应用[J].石油机械,2001,29(7):30-32.  
WANG Zenglin, CUI Yuhai, GUO Haixuan, et al. Anchoring compensating separate layer waterflooding string[J]. China Petroleum Machinery, 2001, 29(7): 30-32.
- [5] 王鹏.海上油田套损修复井小直径防砂分注可行性研究[J].内江科技,2017,38(3):63-64.  
WANG Peng. Feasibility study on separate layer waterflooding by small-diameter sand control in casing failure repair wells of offshore oilfield[J]. Nei Jiang Science & Technology, 2017, 38(3): 63-64.
- [6] 李常友.胜利油田测调一体化分层注水工艺技术新进展[J].石油机械,2015,43(6):66-70.  
LI Changyou. New development of measurement and regulation integrated separate layer water injection technology in Shengli Oilfield[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(6): 66-70.
- [7] 崔传智,刘力军,丰雅,等.基于均衡驱替的分段注水层段划分及合理配注方法[J].油气地质与采收率,2017,24(4):67-71.  
CUI Chuazhi, LIU Lijun, FENG Ya, et al. Layer classification and rational sectional water injection allocation method based on equilibrium displacement[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(4): 67-71.
- [8] 崔传智,安然,李凯凯,等.低渗透油藏水驱注采压差优化研究[J].特种油气藏,2016,23(3):83-85.  
CUI Chuazhi, AN Ran, LI Kaikai, et al. Waterflooding injection-production pressure difference optimization in low-permeability reservoir[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3): 83-85.
- [9] 李常友.预节流测调一体化配水技术研究与应[J].石油机械,2017,45(1):90-94.  
LI Changyou. Research and application of pre-throttling integrated testing and adjusting water distribution technology[J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(1): 90-94.
- [10] 张一羽,王宏万,韩封,等.YJLP-112预节流防刺配水器的研制与应用[J].石油机械,2014,42(6):61-64.  
ZHANG Yiyu, WANG Hongwan, HAN Feng, et al. Development and application of YJLP-112 pre-choke anti-erosion water regulator[J]. China Petroleum Machinery, 2014, 42(6): 61-64.
- [11] 王东琪,殷代印.特低渗透油藏水驱开发效果评价[J].特种油气藏,2017,24(6):107-110.  
WANG Dongqi, YIN Daiyin. Waterflooding performance evaluation in ultra-low permeability oil reservoir[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2017, 24(6): 107-110.
- [12] 杨景辉.深层稠油油藏杂双子表面活性剂增注技术[J].内江科技,2015,36(10):25-26.  
YANG Jinghui. Injection increase of hetero-Gemini surfactants in deep heavy oil reservoirs[J]. Nei Jiang Science & Technology, 2015, 36(10): 25-26.
- [13] 渠慧敏,丁子峰,门海英,等.分子膜增注剂的分子模拟、合成及性能评价[J].油田化学,2017,34(3):463-468.  
QU Huimin, DING Zifeng, MEN Haiying, et al. Molecular simulation, synthesis and performance evaluation of molecular membrane injection agent[J]. Oilfield Chemistry, 2017, 34(3): 463-468.
- [14] 屈亚光.断层对复杂断块油藏水驱开发效果的影响[J].油气地质与采收率,2017,24(4):83-87.  
QU Yaguang. Impact of fault on the development effect of water flooding in complicated fault block reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(4): 83-87.