



胜利油田注水井分层酸化管柱研究现状及发展建议

李永康 贾贻勇 张广中 王宏万 崔玉海

Research Progress and Development Suggestion of Stratified Acidizing Strings in Water Injection Wells of Shengli Oilfield

LI Yongkang, JIA Yiyong, ZHANG Guangzhong, WANG Hongwan, CUI Yuhai

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021030>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

胜利海上油田安全可控长效分层注水技术

Safe and Controllable Long-Term Layered Water Injection Technology for the Shengli Offshore Oilfield

石油钻探技术. 2019, 47(1): 83-89 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018149>

胜利油田长效扩张式分层注水技术

Long-Term Expandable Zonal Water Injection Technology in the Shengli Oilfield

石油钻探技术. 2020, 48(4): 100-105 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020092>

分层注水井测调一体化新技术

A New Integrated Measuring and Adjusting Technology of Separate Layer Water Injection Well

石油钻探技术. 2018, 46(1): 83-89 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018020>

注水井不动管柱螯合酸脉冲式注入酸化增注技术

Chelate Acid Pulse Injection and Acidizing Stimulation Technology for Immobilized Injecting Well String

石油钻探技术. 2018, 46(5): 90-94 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018093>

长庆油田同心验封测调一体化分层注水技术

Stratified Water Injection Technology of Concentric Seal-Check, Logging and Adjustment Integration in Changqing Oilfield

石油钻探技术. 2020, 48(2): 113-117 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020023>

胜利油田钻井完井技术新进展及发展建议

The Latest Progress and Suggestions of Drilling and Completion Techniques in the Shengli Oilfield

石油钻探技术. 2017, 45(1): 1-9 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201701001>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀油气开发▶

doi:10.11911/syztjs.2021030

引用格式: 李永康, 贾贻勇, 张广中, 等. 胜利油田注水井分层酸化管柱研究现状及发展建议 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(3): 129-134.

LI Yongkang, JIA Yiyong, ZHANG Guangzhong, et al. Research progress and development suggestion of stratified acidizing strings in water injection wells of Shengli Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(3): 129-134.

胜利油田注水井分层酸化管柱研究现状及发展建议

李永康¹, 贾贻勇², 张广中¹, 王宏万¹, 崔玉海¹

(1. 中国石化胜利油田分公司石油工程技术研究院, 山东东营 257000; 2. 中国石化胜利油田分公司胜利采油厂, 山东东营 257051)

摘 要: 分层酸化是胜利油田解决分注井纵向差异和堵塞的重要技术措施, 分层酸化管柱是实施分层酸化工艺的重要载体。结合胜利油田油藏实际, 分析了注水井分层酸化管柱技术需求, 总结了该方面的研究现状。分析认为, 已经形成的 K344 型、Y211/Y221 型和 Y341 型等 3 种基本分层酸化管柱, 可以满足胜利油田整装、断块、低渗透等油藏常规注水井的分层酸化需求; 另外, 研究的可替酸分层酸化管柱可实现酸洗功能, 酸化-返排一体化管柱可实现酸化、高效返排功能, 分层酸化分层注水一体化管柱可实现分层酸化、分层注水, 重复酸化完井管柱可实现单层的重复酸化, 这些分层酸化管柱都已大量应用, 并取得了一定的现场效果。但相对于现场实际需求和日益迫切的降本增效要求, 现有管柱还存在许多局限与不足, 为此提出了不断优化完善分层酸化管柱、进一步研究多功能集成管柱、加强智能注水技术和智能管柱研究的发展建议。

关键词: 注水井; 分层酸化; 注水管柱; 智能注水; 发展建议; 胜利油田

中图分类号: TE934⁺.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)03-0129-06

Research Progress and Development Suggestion of Stratified Acidizing Strings in Water Injection Wells of Shengli Oilfield

LI Yongkang¹, JIA Yiyong², ZHANG Guangzhong¹, WANG Hongwan¹, CUI Yuhai¹

(1. Petroleum Engineering Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong, 257000, China; 2. Shengli Oil Production Plant, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong, 257051, China)

Abstract: Stratified acidification is an important technique to solve the problem of the heterogeneity along the borehole and the blockage in the injection wells in Shengli Oilfield, which can be implemented by means of stratified acidizing strings. The technical requirements for this technique were analyzed and its current research situation was summarized with the field practice of Shengli Oilfield. According to the analysis, the existing basic strings, namely the K344, Y211/Y221, and Y341 could meet the requirements of the stratified acidizing of common injection wells in integrated, fault-block, and low-permeability reservoirs in Shengli Oilfield. In addition, some specialized strings were developed to realize pickling (acid-replaceable stratified acidizing strings), integrated acidizing and efficient flowback (acidizing-flowback integrated strings), integrated stratified acidizing and separate water injection (stratified acidizing-separate injection integrated strings), as well as the re-acidizing of a single layer (re-acidizing completion strings). Although these techniques have been widely adopted in the field with satisfied results, they are still far from meeting all the field requirements and the demands for lower cost and higher efficiency. Regarding these shortcomings, some suggestions were put forward including continuous optimization of stratified acidizing strings, further research on multi-functional integrated strings, and deeper studies of intelligent injection techniques and smart strings.

Key words: water injection well; stratified acidizing; water injection string; intelligent water injection; development suggestion; Shengli Oilfield

胜利油田有注水井 10 600 余口, 分注井 5 000 余口, 广泛分布于整装、断块、低渗透等类型油藏, 截至目前, 注水开发依然是该油田稳定发展的基础^[1-2]。为了实现并保持“注够水, 注好水, 有效注水”的目标, 胜利油田在分注井欠注后, 考虑到层

间矛盾相对突出, 将分层酸化作为解堵增注的主要措施, 也将其作为提高“三率”(水井分注率、注水层段合格率、注采对应率)的有效手段之一。

目前, 国内外关于油水井分段压裂技术的研究较多, 但对分层酸化技术研究较少。分段压裂技术与分

收稿日期: 2020-09-21; 改回日期: 2021-01-30。

作者简介: 李永康 (1984—), 男, 河南林州人, 2009 年毕业于长江大学石油工程专业, 2012 年获长江大学油气田开发工程专业硕士学位, 助理研究员, 主要从事分层注水工艺和技术方面的研究工作。E-mail: liyongkang.slyt@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项“精细分层注采技术”(编号: 2016ZX05011-004)和中国石化科技攻关项目“高含水期长寿高效注采关键技术研究”(编号: P20070-1)联合资助。

层酸化技术有相通之处,且取得了巨大进步,但从成本、规模、长效、后期检换的安全性能等方面综合考虑,该技术用于注水井的分层酸化是不合适的^[3-10]。目前,常用的注水井分层酸化技术有化学暂堵酸化和机械分层酸化2类,机械分层酸化应用更为普遍。分层酸化管柱是机械分层酸化的载体,按所用封隔器类型划分,可将其分为扩张型和压缩型2类,其中扩张型分层酸化管柱主要配套K344型扩张式封隔器^[11-12],压缩型分层酸化管柱主要配套Y341型、Y211型、Y221型、Y241型和Y511型等压缩型封隔器^[13-16];按管柱功能划分,可将其分为分层酸化管柱和分层酸化分层注水一体化管柱^[17-18];按换层方式划分,又可以将其分为投捞式和免投捞式2种,其中投捞式管柱主要有投捞芯子式、投球(棒、堵塞器)式、下测调仪器式等^[19],而免投捞式管柱主要有有缆式和无缆式,有缆式是通过电缆传递信号控制换层,无缆式主要是通过压力波传递信号实现换层^[20-21]。

现有分层酸化管柱基本满足了胜利油田常规井况($\phi 139.7 \sim \phi 177.8$ mm 套管)分层酸化需求,但近年来随着该油田常规套损分层注水井、油井转注水井和新投入大井眼注水井数量的日益增加,以及油田降本增效要求的逐步升高,对分注井分层酸化技术及所用管柱的性能提出了更高要求。为此,笔者在分析胜利油田注水井分层酸化管柱矿场需求和近几年发展的基础上,探讨了存在的问题,指出了攻关方向和发展建议。

1 技术需求

胜利油田的整装、断块油藏埋深一般小于2 500 m,地层温度低于120 ℃,地层压力低于25 MPa;低渗透油藏埋深小于4 000 m,地层温度低于150 ℃,地层压力低

于35 MPa。整装、断块油藏分注井以2~3层为主,最大分层数为7层;低渗透油藏分注井以2层为主,最大分层数为4层。随着“三率”和精细注水水平的日益提高,胜利油田在进行注水井分层酸化时,特殊井况和常规分注井降本增效要求酸化管柱要具有特殊功能。

1.1 特殊井况下的需求

近年来,胜利油田套损分注井比例日益增加,治理后形成了一批套管内径为102.0/90.0 mm的分注井,为确保能够“注够水,注好水,有效注水”,需要配套相应的分层酸化管柱。另外,胜利油田调整油藏方案时,将一些用 $\phi 244.5$ mm套管的油井转为了注水井,同时胜利油田海上新投入的分注井以使用 $\phi 244.5$ mm套管为主,在此情况下,也需要完善分层酸化管柱,以适应矿场需求。

1.2 降本增效的需求

对于低油价的常态化,降本增效成为国内油田普遍采用的应对措施之一。就分层酸化管柱而言,应主要做到2方面:1)提高管柱的施工成功率及管柱的矿场适应性;2)增加管柱的功能,通过增加分层酸化管柱的功能而减少其他投入,进而达到降本增效的目的。

2 研究现状

针对技术需求,近年来胜利油田研究形成了基本管柱、可替酸的分层酸化管柱、酸化返排一体化管柱、分层酸化分层注水一体化管柱和重复酸化完井管柱等,进行了大量应用,并取得了一定应用效果。

2.1 基本管柱

针对胜利油田整装、断块及低渗透油藏常规井分层酸化需求,研究形成了3种基本分层酸化管柱(如图1所示),目前每年在现场应用近千井次。

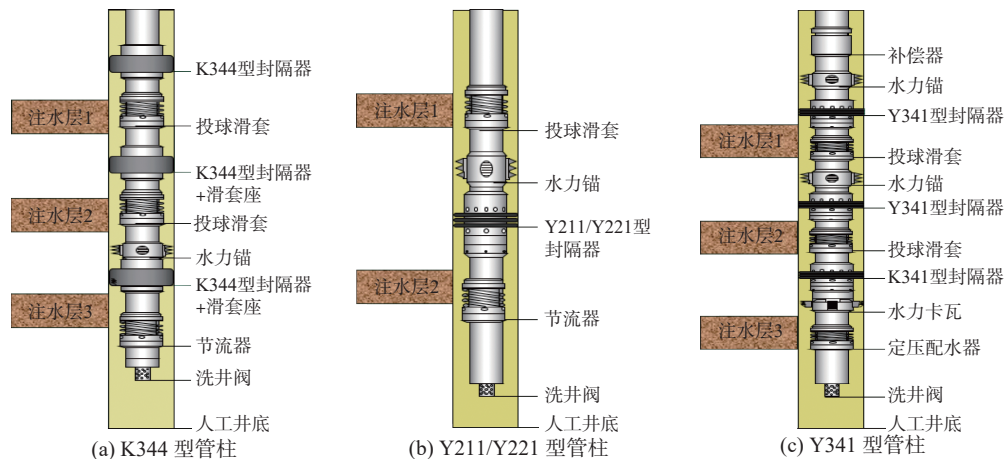


图1 基本分层酸化管柱

Fig.1 Basic stratified acidizing strings

K344 型管柱主要由 K344 型封隔器、水力锚、投球滑套、节流器和洗井阀等组成, 如图 1(a) 所示。主要用于整装、断块等类型油藏注水井的分层酸化, 分 1~6 层酸化的约占 90%, 其中分 2~3 层酸化的约占 85%。

Y211/Y221 型管柱主要由 Y211/221 型封隔器、投球滑套、节流器和洗井阀等组成, 如图 1(b) 所示。主要用于整装、断块和低渗透油藏注水井的分层酸化, 分 1~2 层酸化的约占 4%。

Y341 型管柱主要由 Y341 型封隔器、补偿器、投球滑套、水力锚、定压滑套和洗井阀等组成, 如图 1(c) 所示。主要用于低渗油藏注水井的分层酸化, 分 1~6 层酸化的约占 6%。

3 种基本分层酸化管柱的技术指标: K344 型管柱的工作压力 ≤ 25 MPa, 工作温度 ≤ 120 °C, 适用于内径为 99.6~220.5 mm 的套管; Y211/Y221 和 Y341 型管柱的工作压力 ≤ 35 MPa, 工作温度 ≤ 150 °C, 适用于内径为 99.6~220.5 mm 的套管。

其中, 投球滑套是分层酸化的主要配套工具之一, 用以控制酸化换层。投球滑套主要由上接头、中心管、内部滑套、活塞、弹簧、挡套和滑套座组成, 如图 2 所示。

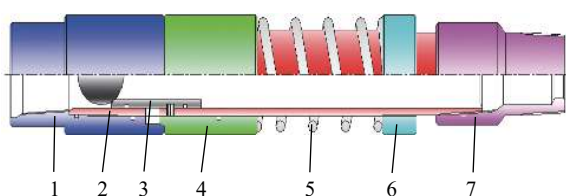


图 2 投球滑套结构

Fig.2 Structure of a ball-throwing sliding sleeve

1.上接头; 2.中心管; 3.内部滑套; 4.活塞; 5.弹簧; 6.挡套; 7.滑套座

使用时, 投球滑套(不带球)随管柱下井。酸化换层时, 投球至内部滑套, 在注入液作用下控制剪钉被剪断, 钢球随内部滑套下落至滑套座, 关闭投球滑套下部管柱进液通道; 同时, 注入液推动活塞克服弹簧力下移, 打开出液孔, 实现对应层位的酸化。

2.2 可替酸分层酸化管柱

分层酸化时, 炮眼处污染易引起酸化启动能力高的情况, 由于常规分层酸化管柱无法替酸, 一般需更换压力等级高的井口重新施工, 会耗费更多的人力物力, 增加成本, 同时增大施工安全风险。针对该问题, 胜利油田研究形成了可替酸分层酸化管柱, 其核心是研制出多功能洗井阀, 替换了基本分层酸化管柱中的洗井阀。多功能洗井阀主要由阀球机构和锁爪机构组成, 如图 3 所示。

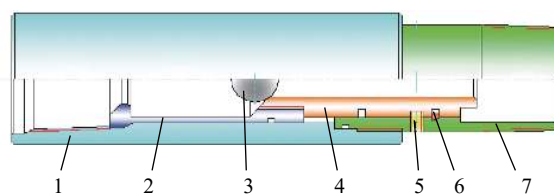


图 3 多功能洗井阀结构

Fig.3 Structure of a multi-functional flushing valve

1.本体; 2.锁爪; 3.阀球; 4.阀座; 5.剪钉; 6.锁环; 7.接头

可替酸分层酸化管柱下井时, 不带钢球, 保证正向畅通, 实现正向替酸及对酸化层段的酸液浸泡, 降低施工泵压。投球后, 正向加压至剪钉被剪断, 阀座带动锁爪下移至限位处。然后, 锁爪内收, 将阀球锁住, 避免反洗井时将球洗出; 同时, 通过锁环实现锁紧。此时, 可实现普通洗井阀功能。可替酸分层酸化管柱的技术指标: 工作压力 ≤ 35 MPa, 工作温度 ≤ 150 °C。目前, 该分层酸化管柱已广泛应用于胜利油田分注井的酸化施工中。

2.3 酸化-返排一体化管柱

现场对注水井进行分层酸化时, 需要及时将解堵后形成的酸渣返排, 以降低对地层的污染。目前, 一般利用混气返排、抽汲返排等措施提高返排效果, 但成本相对较高。为此, 研制了酸化-返排一体化管柱, 该管柱主要由转换器、封隔器和射流解堵器等组成, 如图 4 所示。

酸化时, 酸液依次经过油管、转换器内中心管、封隔器中心管、 $\phi 48.0$ mm 油管、射流解堵器吸入口, 然后进入目的层酸化。返排时, 返排液依次经过套管环空、转换器内外中心管环空、封隔器中心管、 $\phi 48.0$ mm 油管环空、 $\phi 88.9$ mm 油管与 $\phi 48.0$ mm 油管环空、丝堵、射流解堵器喷嘴、 $\phi 48.0$ mm 油管、封隔器中心管、转换器内中心管、油管, 然后流出井筒, 主要靠动力液流经射流解堵器喷嘴时产生的负压实现酸渣的高效返排, 进而降低返排成本。目前, 酸化-返排一体化管柱在胜利油田累计实施 50 余井次, 最大压差达到 11 MPa。

2.4 分层酸化分层注水一体化管柱

常规分注井分层酸化、完井需分步进行, 即先下入分层酸化管柱进行分层酸化, 然后起出, 再下入分层注水管柱完井, 因此会造成占井周期长、工序多等问题。为此, 研制了分层酸化分层注水一体化管柱, 用一趟管柱完成分层酸化和分层注水。分层酸化分层注水一体化管柱主要由封隔器、一体化配水器和配水器等组成, 如图 5 所示。

使用分层酸化分层注水一体化管柱时, 按管柱

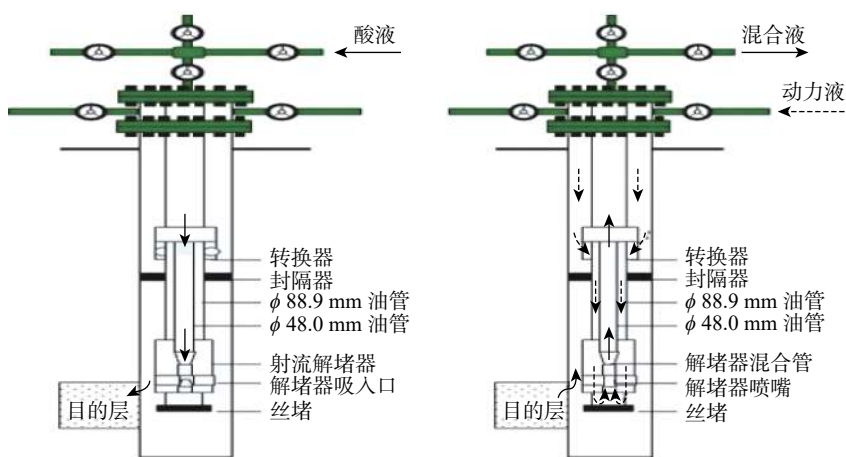


图4 酸化-返排一体化管柱结构

Fig.4 Acidizing-flowback integrated string

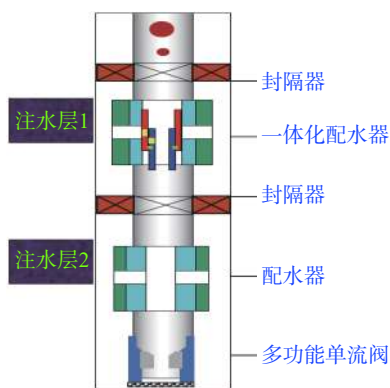


图5 分层酸化分层注水一体化管柱

Fig.5 Stratified acidizing-separate injection integrated string

入井—酸洗—投球坐封并开启下层配水器—酸化下层—投球换层—酸化上层—返排洗球—正常注水的流程进行。投球换层时，一体化芯子剪断剪钉，实现2级分离，上部402部分出水孔打开，酸化对应层位；下部404部分随低密度球下落至底部配水器，关闭下部出水孔。完成酸化后，返排出低密度球，转入正常分注，测调与常规空心测调类似。分层酸化分层注水一体化管柱实现了一趟管柱分层酸化后转分层注水完井，节约了工具费用、缩短了占井周期，达到了降本增效的目的。截至目前，已发展形成了化分层酸化、分层注水测调一体化技术^[20]。

分层酸化分层注水一体化管柱的技术指标：工作压力 ≤ 35 MPa，工作温度 ≤ 150 °C，适用层数 ≤ 3 层。年均实施约30井次，施工成功率100%。

2.5 重复酸化完井管柱

由于分层酸化分层注水一体化管柱仍采用投球滑套式换层，故不能对单层进行重复酸化。针对该问题，

结合分层注水测调一体化技术^[21-23]，形成了重复酸化完井管柱。重复酸化完井管柱的核心是，用测调一体化配水器替换基本分层注水管柱中的投球滑套，通过电缆向井下输入测调仪器，地面控制水嘴开关，实现换层，如图6所示。重复酸化完井管柱目前主要用于胜利油田单层的重复酸化，年均实施约20井次。

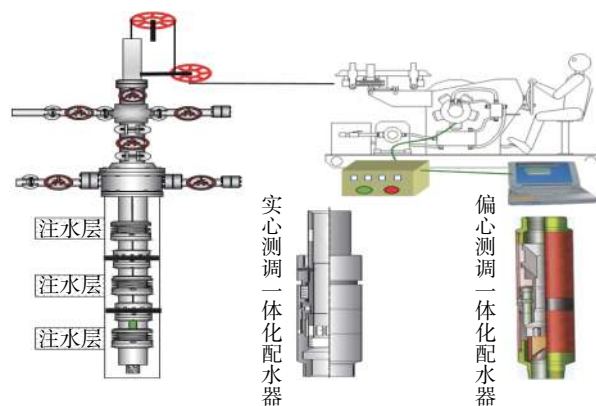


图6 测调一体化注水系统

Fig.6 Measurement-adjustment integrated water injection system

3 存在问题及发展建议

尽管近年来胜利油田在注水井分层酸化管柱研究方面取得了较多成果和较好的应用效果，但相对于技术需求，依然存在一些问题：1)随着套损井比例增大及分层注水工艺的不断完善，套管内径小于90.0和80.0 mm的分注井都存在一定的分层酸化需求，对于分层酸化管柱的耐压能力提出了更高要求；2)酸化-返排一体化管柱虽然能实现酸渣的高效返

排,但其提放管柱式换层制约了技术的规模化推广应用;3)分层酸化分层注水一体化管柱可实现酸化、注水管柱的有效融合,但滑套结构的换层方式使酸化层数受限且无法实现重复酸化;4)重复酸化完井管柱虽然可实现重复酸化,但需要下入测调仪进行酸化换层,耗时较长且增加了作业风险,考虑安全性、时效性和成本等因素,目前主要用于单层酸化。

针对上述问题,结合相关研究现状和目前的技术发展趋势,提出以下发展建议:

1)不断优化完善分层酸化管柱。针对胜利油田整装、断块、低渗透油藏及难动用储量的水驱开发,结合分注、酸化工艺和材料研究的不断进步,通过关键配套工具技术攻关及管柱结构的优化配套,逐步形成低成本、低风险酸化管柱,以满足矿场需求。

2)进一步研究多功能集成管柱。近年来,基于降本提质增效目的,胜利油田提出了“分注管柱(陆上)在井5年以上”的目标,并初步建设了相应的示范区。但长远考虑,有必要研究形成适用范围更广的集分层注水、分层酸化等功能于一体的集成管柱。

3)加强智能注水技术和智能管柱研究。相比常规投捞式换层方式,智能注水技术换层方式的安全性、可操作性更高,为多功能集成管柱的研究创造了条件。例如,胜利油田已经研究形成的有线传输智能注水技术和无线智能测控分注技术(相关注水系统见图7)^[24-26],均累计应用达80井次以上,取得了很好的应用效果。为了实时掌握井下注水情况,为油藏方案调整提供精准依据,应进一步开展智能注水技术和智能管柱的研究及矿场实践。

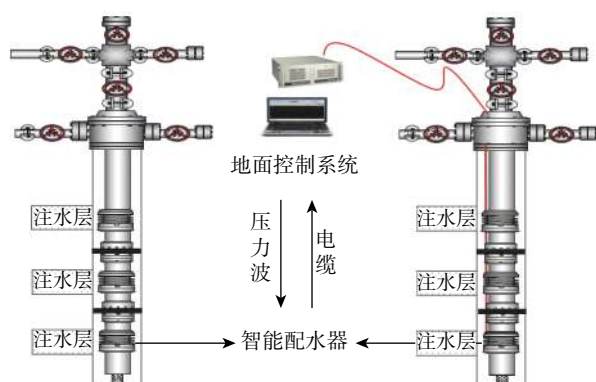


图7 智能注水系统

Fig.7 Intelligent water injection system

4 结 论

1)胜利油田现有分层酸化管柱满足了很多现场

需求,取得了一定效果:K344型、Y221/Y211型和Y341型等3种基本分层酸化管柱,满足了胜利油田整装、断块、低渗透等油藏常规注水井的分层酸化需求;可替酸分层酸化管柱实现了酸洗功能,提高了酸化成功率;酸化-返排一体化管柱一趟管柱实现了酸化、高效返排功能,节约了成本;分酸分注一体化管柱一趟管柱实现了分层酸化、分层注水,缩短了占井周期,实现了降本增效;重复酸化完井管柱实现了单层的重复酸化。

2)随着胜利油田在套损井治理、难动用储量水驱开发及长寿命注水方面的不断发展,对注水井分注技术及相应的分层酸化技术提出了更高要求。

3)基于矿场需求、研究现状和目前的技术发展趋势,建议在不断完善现有技术的同时,加强多功能集成管柱的研究。同时,应进一步研究具有智能分注、智能酸化等功能的智能注水技术和智能管柱,并开展相应的矿场实践。

参 考 文 献

References

- [1] 董卫兵. 中国东部老油田开发的实践探索与启示[J]. 会计之友, 2011(1): 122-124.
DONG Weibing. Practical exploration and enlightenment of the development of old oilfields in eastern China[J]. Friends of Accounting, 2011(1): 122-124.
- [2] 王增林. 胜利油田分层注水工艺技术研究与实践[J]. 油气地质与采收率, 2018, 25(6): 1-6.
WANG Zenglin. Research and practice of separated layer water injection technology in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(6): 1-6.
- [3] 安娜, 罗攀登, 李永寿, 等. 碳酸盐岩储层深度酸压用固体颗粒酸的研制[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(2): 93-97.
AN Na, LUO Pandeng, LI Yongshou, et al. Development of solid granular acid for the deep acid-fracturing of carbonate reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(2): 93-97.
- [4] 孙召勃, 李云鹏, 贾晓飞, 等. 基于驱替定量表征的高含水油田注水井分层配注量确定方法[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(2): 87-91.
SUN Zhaobo, LI Yunpeng, JIA Xiaofei, et al. A method to determine the layered injection allocation rates for water injection wells in high water cut oilfield based on displacement quantitative characterization[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(2): 87-91.
- [5] 王国壮, 梁承春, 孙招锋, 等. 红河油田长6特低渗油藏多元复合酸降压增注技术[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(4): 96-101.
WANG Guozhuang, LIANG Chengchun, SUN Zhaofeng, et al. Decompression and augmented injection technology with polybasic recombination acid for Chang-6 ultra-low permeability reservoir in Honghe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(4): 96-101.
- [6] 夏海帮. 页岩气井双暂堵压裂技术与现场试验[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(3): 90-96.

- XIA Haibang. The research and field testing of dual temporary plugging fracturing technology for shale gas wells[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(3): 90–96.
- [7] 黎伟, 夏杨, 陈曦. RFID 智能滑套设计与试验研究[J]. *石油钻探技术*, 2019, 47(6): 83–88.
- LI Wei, XIA Yang, CHEN Xi. Design and experimental study of an RFID intelligent sliding sleeve[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2019, 47(6): 83–88.
- [8] 马如然, 刘音, 常青. 油田压裂用暂堵剂技术[J]. *天然气与石油*, 2013, 31(6): 79–82.
- MA Ruran, LIU Yin, CHANG Qing. New technology of diverting agents used in oilfield fracturing[J]. *Natural Gas and Oil*, 2013, 31(6): 79–82.
- [9] 张合文, 黄先雄, 杨平平, 等. 协同转向酸化技术在让纳若尔油田的应用[J]. *石油钻采工艺*, 2014, 36(2): 101–104.
- ZHANG Hewen, HUANG Xianxiong, YANG Pingping, et al. Synergistic diverted acidizing and its application in Zanazour Oilfield[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2014, 36(2): 101–104.
- [10] NASR-EL-DIN H A, AL-ANAZI H A, MOHAMED S K. Stimulation of water-disposal wells using acid-in-diesel emulsions: case histories[J]. *SPE Production & Facilities*, 2000, 15(3): 176–182.
- [11] 徐新华, 唐海兵, 胡正强, 等. 小直径扩张式封隔器压裂管柱的研制与应用[J]. *石油机械*, 2018, 46(9): 81–86.
- XU Xinhua, TANG Haibing, HU Zhengqiang, et al. Development and application of fracturing string with small diameter expandable packer[J]. *China Petroleum Machinery*, 2018, 46(9): 81–86.
- [12] 李国太. K344 油层保护封隔器的研究与应用[J]. *石油机械*, 2009, 37(6): 55–57.
- LI Guotai. Research and application of K344 reservoir protection packer[J]. *China Petroleum Machinery*, 2009, 37(6): 55–57.
- [13] 岳久红, 马旭. 大斜度井水平井分层酸化工艺管柱及其应用[J]. *新疆石油天然气*, 2011, 7(2): 51–53.
- YUE Jiuhong, MA Xu. Application of an acidification handicraft tubular column with layers in the highly deviated wells and the horizontal wells[J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 2011, 7(2): 51–53.
- [14] 王磊. 高温高压分层酸化工艺管柱的研制与应用[J]. *内江科技*, 2018(1): 18, 31.
- WANG Lei. Development and application of high temperature and high pressure stratified acidizing process pipe string[J]. *Neijiang Technology*, 2018(1): 18, 31.
- [15] 李英, 黎文才, 崔绍江, 等. Y241 高压挤注封隔器的研制与应用[J]. *石油机械*, 2009, 37(9): 173–174.
- LI Ying, LI Wencai, CUI Shaojiang, et al. Development and application of Y241 high pressure squeeze packer[J]. *China Petroleum Machinery*, 2009, 37(9): 173–174.
- [16] 刘军, 刘伟, 陈曙光, 等. 深井多级分层酸化管柱研制[J]. *石油矿场机械*, 2007, 36(9): 79–81.
- LIU Jun, LIU Wei, CHEN Shuguang, et al. Study and development of staged pipe string for acidization in deep well[J]. *Oil Field Equipment*, 2007, 36(9): 79–81.
- [17] 王宏万, 李永康, 马艳洁, 等. 分层酸化、注水一体化管柱的研制及应用[J]. *石油机械*, 2015, 43(7): 108–110.
- WANG Hongwan, LI Yongkang, MA Yanjie, et al. Development and application of integrated separate layer acidification and water injection string[J]. *China Petroleum Machinery*, 2015, 43(7): 108–110.
- [18] 刘冬炎. 分酸分注一体化工艺在临盘油田的应用[J]. *清洗世界*, 2015, 31(11): 23–27.
- LIU Dongyan. Application of integrated technology about layering acidification and layered water injection in Linpan Oilfield[J]. *Cleaning World*, 2015, 31(11): 23–27.
- [19] 任向阳, 潘国辉, 龙远强. 新型分层酸化管柱技术在江苏油田的应用[J]. *断块油气田*, 2008, 15(4): 120–122.
- REN Xiangyang, PAN Guohui, LONG Yuanqiang. Application of tube column technology of new lamination acidification in Jiangsu Oilfield[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2008, 15(4): 120–122.
- [20] 中国石油化工股份有限公司, 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司石油工程技术研究院. 一种分层酸化与分注测调一体化管柱: CN201720955828.1[P]. 2018-03-16.
- China Petroleum and Chemical Corporation, Research Institute of Petroleum Engineering Technology of Sinopec Shengli Oilfield Company. Layered acidification and layered water injection test and allocation integrated pipe string: CN201720955828.1[P]. 2018-03-16.
- [21] 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.
- [22] 郭宏峰, 杨树坤, 段凯滨, 等. 渤海油田可反洗测调一体分层注水工艺[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(3): 97–101.
- GUO Hongfeng, YANG Shukun, DUAN Kaibin, et al. An improved integrated reverse washing, measuring and adjusting zonal water injection process in the Bohai Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(3): 97–101.
- [23] 杨玲智, 刘延青, 胡改星, 等. 长庆油田同心验封测调一体化分层注水技术[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(2): 113–117.
- YANG Lingzhi, LIU Yanqing, HU Gaixing, et al. Stratified water injection technology of concentric seal-check, logging and adjustment integration in Changqing Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(2): 113–117.
- [24] 阮宏镁. 智能注水技术综述[J]. *内江科技*, 2018(11): 60–66.
- RUAN Hongmei. Summary of intelligent water injection technology[J]. *Neijiang Technology*, 2018(11): 60–66.
- [25] 孙金峰, 张学超, 李勇, 等. 免投捞实时测控精细注水技术[J]. *石油机械*, 2017, 45(1): 81–84, 119.
- SUN Jinfeng, ZHANG Xuechao, LI Yong, et al. Free-casting and fishing real-time measurement and control precise water injection technology[J]. *China Petroleum Machinery*, 2017, 45(1): 81–84, 119.
- [26] 贾庆升. 无线智能分层注采技术研究[J]. *石油机械*, 2019, 47(7): 99–104.
- JIA Qingsheng. Intelligent separate layer injection and production technology based on wireless telemetry[J]. *China Petroleum Machinery*, 2019, 47(7): 99–104.