

可控冲击波增透技术在海上油田适应性分析

杨万有¹, 邹信波², 刘帅², 江任开², 杨光², 段铮²

1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司生产作业部 广东深圳 518067

通讯作者: Email: yangwy3@cnooc.com.cn

项目支持: 中海油能源发展股份有限公司科研项目“可控冲击波增透工艺技术及装备研究”(CNOOC-HFXMLZ-GJ2018-04)、中海石油(中国)有限公司深圳分公司项目“新型聚能酸压技术研究”(CCL2018SZPS0359)

引用: 杨万有, 邹信波, 刘帅, 等. 可控冲击波增透技术在海上油田适应性分析[J]. 油气井测试, 2020, 29(5): 33-38.

Cite: YANG Wanyou, ZOU Xinbo, LIU Shuai, et al. Analysis on the adaptability of improving permeability with controllable shockwaves [J]. Well Testing, 2020, 29(5): 33-38.

摘要 海上油田常因油水井近井地带污染、筛管堵塞、低孔低渗造成油井低产低效。可控冲击波增透技术是一种新型物理法解堵增透技术,以高功率电脉冲与放电等离子体为基础,将含能材料包裹在金属丝周围,利用金属丝电爆炸产生等离子体驱动含能材料释能解堵。通过改变含能材料配方优化可控冲击波波形,实现高渗储层解堵、中/低渗储层增透。通过地面打靶试验验证,该技术适用于裸眼、套管射孔、筛管、砾石充填等多种完井方式;冲击30次后套管、筛管无损伤、无扩径、无穿孔,筛管挡砂精度检测后符合应用标准;不影响井下封隔器密封性能。该技术环保节能、安全可控、不伤害储层,可与现有增产措施形成技术优势互补,发展成为一种高效低成本的解堵增透技术。

关键词 可控冲击波; 解堵; 增透; 海上油田; 储层污染

中图分类号: TE353 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.05.006

Analysis on the adaptability of improving permeability with controllable shockwaves

YANG Wanyou¹, ZOU Xinbo², LIU Shuai², JIANG Renkai², YANG Guang², DUAN Zheng²

1. Engineering Technology Branch of CNOOC Energy Development Co. Ltd., Tianjin 300452, China

2. Production Department of Shenzhen Branch, CNNOC (China) Co. Ltd., Shenzhen 518067, Guangdong, China

Abstract: Offshore oilfields often have performance of low production and low efficiency due to damage near wellbore, screen blockage, low porosity and low permeability. Permeability improving technology with controllable shockwaves is a new kind of plug removal technology by physical method. On the basis of high-power electrical impulses and discharge plasma, this technology wraps the energy-containing material around the metal wire, and use plasma, which is generated by electrical explosion of the metal wire, to drive energy-containing material to release energy used for plug removal. Waveform of controllable waves can be optimized by changing the formula of the energy-containing material, realizing plug removal in high permeability reservoir and permeability improvement in medium/low permeability reservoir. After ground firing test, the technology is applicable to many completion styles such as open-hole completion, perforated casing completion, screen completion, gravel packing completion and so on. After 30 times of impact, there is no damage, no expansion, and no perforation on the casing and screen, and the sand control precision of screen meets the application standard. The shockwave does not affect sealing performance of well packer. The technology is environmentally friendly, energy-saving, safe and controllable, and does not harm the reservoir. It can complement with the existing stimulation measures to develop into an efficient and low-cost technology to improve permeability and remove plugs.

Keywords: controllable shockwave; plug removal; permeability improvement; offshore oilfield; reservoir damage

油水井生产过程中如出现地层污染、近井地带堵塞,特别是低孔低渗的储层,将导致油井产量下降、水井注入困难,严重影响油田的开发效益。据不完全统计,2017年海上油田因地层污染、低孔低渗导致的低

产低效井和长关井约110口,单井预估影响产能20 m³/d;注水井因注入困难,采取增注措施高达388井次。目前,解决海上油水井地层污染、近井地带堵塞的主要措施为酸化^[1-2]、压裂/微压裂^[3-5]、爆燃压

裂^[6-8]等,现有措施方法存在措施手段单一、有效期短、作业费用高、储层二次污染等问题。

因此,为解决海上油田储层改造中存在的技术应用限制问题,研发了一种低成本高效的新型物理法解堵增产增注技术——可控冲击波增透工艺技术^[9-10]。可控冲击波增透工艺技术是在电脉冲的基础上改进而来。第一代为水中高压放电,以脉冲功率技术和液电效应为基础,将储存的电能转化为冲击波能量^[11-12],由于能量转换率低,限制了技术的推广使用。随后,发展了金属丝点爆炸产生冲击波技术,能量转换效率可达到 24%,最大输出能量为 10 kJ^[13-14]。上述两种工艺技术的冲击能量来源为脉冲功率源所储存的能量,作用有效半径相对小,对储层的作用有限。为了提高作业效果,在之前金属丝点爆炸的基础上,加入含能材料,大幅提高冲击能量,实现储层改造的目的。该技术在煤矿瓦斯防治领域成功应用^[15-17],可有效增透煤层,促进煤层瓦斯解析、扩散。考虑煤层与海上油田储层的区

别,针对海上油井的特殊性,需进一步研究可控冲击波增透技术在海上油田的适应性。

1 现有增产措施分析

为了有效解决因储层污染或近井地带堵塞等问题导致的油井低产和水井难注入问题,主要采用的增产增注措施有酸化、压裂/微压裂、爆燃压裂等,在一定程度上满足了海上油田的技术需求,但仍存在一些问题。例如有酸化工艺设计及实施不当,会对地层产生二次伤害;压裂可以有效解决地层污染和低孔低渗的问题。但是选井条件苛刻,施工程序复杂,作业费用较高;微压裂对于高注入量的注水井而言,需要大排量且高扬程的地面注入设备,而对于这样参数要求的地面注入泵占地空间过大,平台占地空间不足,该技术应用具有一定的局限性;另外,爆燃压裂受技术成本(资质问题)、安全优化设计等条件制约。常用增产措施主要原理、主要限制条件见表 1。

表 1 常用增产措施对比分析
Table 1 Comparative analysis of common stimulation measures

增产措施	工艺原理	限制条件
酸化	利用酸液溶解岩石胶结物或地层孔隙内堵塞物,扩大近井地带油层的孔隙度,提高地层渗透率	①酸化存在二次污染的风险;②对于软堵井效果较差;③多轮次酸化有效期缩短。
水力压裂	利用地面高压泵,通过井筒向油层挤注具有较高黏度的压裂液,破裂地层后,向油层挤入带有支撑剂(通常石英砂)的携砂液,用于支撑已经压开的裂缝,使其不致于闭合。	①作业费用高;②施工复杂,作业空间受限;③径向作用力不可控。
爆燃压裂	采用火药在井筒中燃烧,产生动态高压气体对地层进行压裂,以实现增产。	①作业费用偏高;②对地层防砂方式的影响待评价;③主要作业于低渗储层。
微压裂	利用平台注入水为压裂液(不使用增黏剂及支撑剂)的方式,通过泥浆泵或压裂泵提高压力,使井筒附近储层形成微裂缝,达到增注目的。	①需要地面大功率泵组和井口保护装置,同时确保井筒安全;②径向作用力不可控;③有效期视井况而定。

2 可控冲击波增透工艺技术

可控冲击波技术是基于脉冲功率技术^[18-19],以高功率电脉冲与放电等离子体为基础,将含能材料包裹在金属丝周围,利用金属丝电爆炸产生等离子体驱动含能材料释能的技术。将电能和化学能转换为冲击波机械能,借助于脉冲功率源的重复运行,在一定的区域内产生可控的重复强冲击波,可控冲击波波形具有高幅值、低脉宽(微秒级)的特性(图 1)。冲击波以储层和流体作为作用对象和传播介质。在不同半径位置上,冲击波的波形和幅值差距较大,相互作用模式和作用效果不一样。距离冲击波发生处不同距离冲击波幅值的变化规律如图 2 所示,基于不同的冲击波波形和幅值,冲击波可实现致裂储层(冲击波幅值大

于储层抗压强度)、撕裂储层(冲击波的幅值小于储层抗压强度,大于储层的抗张/抗剪强度)和改善储层(冲击波的幅值小于储层的抗张/抗剪强度)。

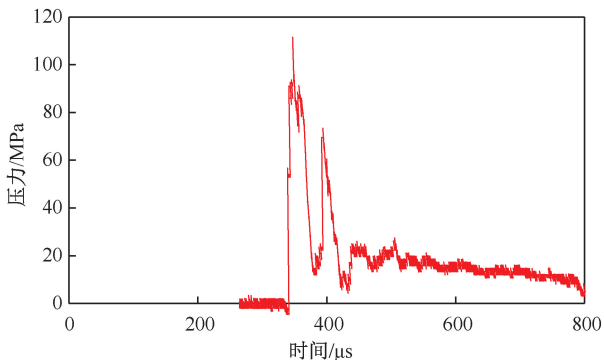


图 1 可控冲击波实测波形
Fig. 1 Measured waveform of controllable shockwaves

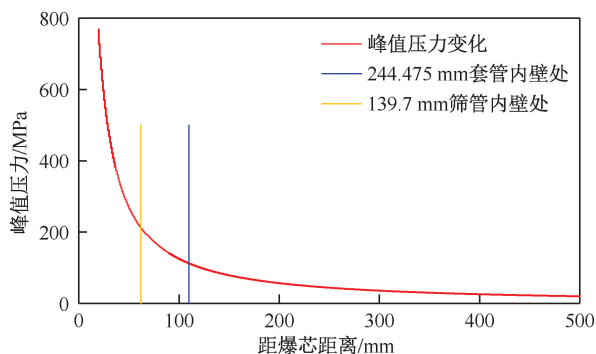


图2 距爆芯不同距离处冲击波峰值变化曲线

Fig. 2 Changes of shockwave peak value at different distances from the exploding core

可控冲击波增透工艺技术的优势有:①可通过调整含能材料的配方和质量控制冲击波的波形和幅值,满足储层解堵、致裂的不同需求;②冲击波沿径向均匀施加,作用方向与地应力分布无关,纵向作用区域有限,不用通过封隔器强制分段;③工艺实施成本低,技术安全可控,具有环保、节能的优点。

3 技术适应性分析

基于海上油田油藏性质、生产管柱等特殊性质,从储层、安全性、工艺实施和经济等多方面评估技

术在海上油田可行性。

3.1 储层适应性分析

海上油田储层覆盖范围广,既有高孔高渗疏松砂岩储层,也有大量的低渗储层。对于高孔高渗油田的开发,以渤海油田明化镇油组为例,该油田储层胶结物以泥质、泥钙质为主,敏感性强,储层厚度大,容易受到污染和损害,主要的伤害有固相侵入、液相侵入、储层敏感和出砂损害等;对于低渗储层,海上油田受特殊的开发方式和完井方式限制,主要采用水力压裂、酸化等措施进行增产^[20-22]。当储层受到伤害,需采取补救措施。可控冲击波作为一种物理法增透技术,具有不污染储层的特点,可用于解决近井地带污染,尤其适用于水敏或酸敏储层。可通过调整冲击波的波形实现低渗储层致裂增透、高渗储层解堵增透。

为评价可控冲击波冲击对储层的增透效果,设计了致裂岩石实验。基于南海东部油田典型区块的岩石力学性质,制作了混凝土靶,开展了可控冲击波地面打靶实验装置(图3)。实验时先下入可控冲击波发生装置,加水充满套管,并固定上端密闭盖板,多次触发可控冲击波发生装置,记录混凝土靶致裂情况。

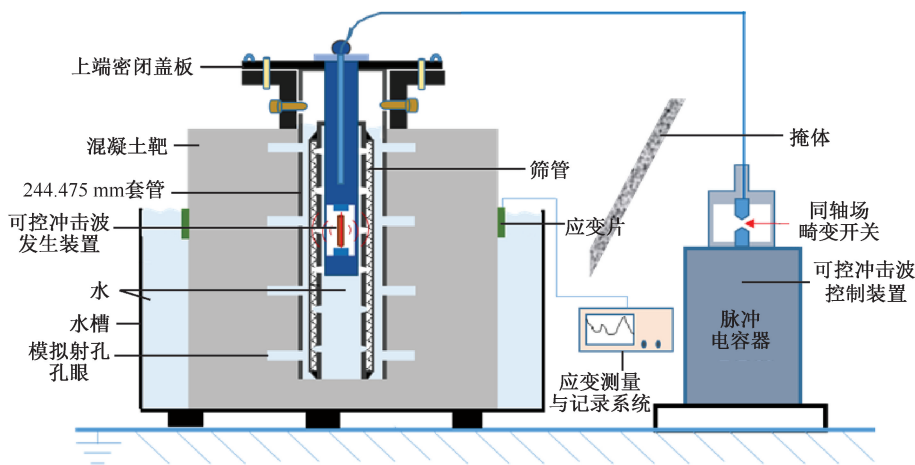


图3 可控冲击波地面打靶实验装置结构示意图

Fig. 3 Structure of equipment used for firing test on the ground with controllable shockwaves

多次冲击后,混凝土靶出现肉眼可见裂隙,且呈现以下规律:可控冲击波冲击2~3次后可有效致裂混凝土靶,冲击4~6次后可形成有效顶底贯穿缝4~6条,横向形成有效缝网(图4),随着冲击次数的增加,裂缝变宽变长。

3.2 安全性评估

为了更好地将可控冲击波增透技术应用于海上油田,针对海上油井生产管柱特点设计了套

管安全性、筛管适应性、井下封隔器安全评价方法。

3.2.1 套管安全性及筛管适应性评价

海上油田常用的筛管主要以复合筛管为主,为了评价可控冲击波增透工艺技术对于套管安全性和筛管适应性分析,开展了可控冲击波地面打靶实验,装置如图3所示。实验时,先下入可控冲击波发生装置,加水至井筒充满,并固定上端密闭盖板。多次触

发可控冲击波发生装置。实验后,提出筛管和套管。对于套管安全性,评价可控冲击波冲击后套管力学性能变化情况;对于筛管适应性,评价可控冲击波冲击后筛管挡砂精度和力学参数变化情况。

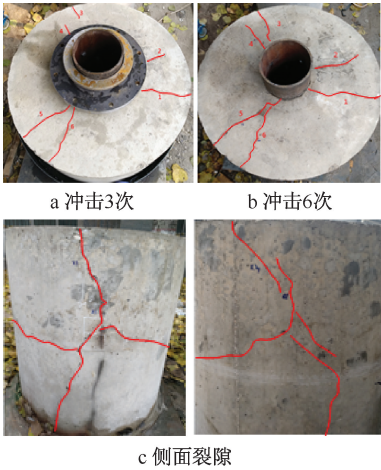


图 4 冲击不同次数致裂效果图

实验结果表明,可控冲击波冲击 30 次后,套管和筛管基管无损伤、无扩径、无穿孔;筛管挡砂精度检测后符合应用标准。实验前后筛管挡砂精度的测试结果见表 2。

表 2 实验前后筛管挡砂精度测试结果
Table 2 Testing results of control precision for screen before and after experiment

复合筛管	标定挡砂精度/ μm	冲击次数	实测挡砂精度/ μm
原始筛管	120	0	121.2
	150	0	154.9
冲击后筛管	120	9	128.7
	150	9	151.6

3.2.2 封隔器密封安全性评价

海上油田生产井多采用分采分注方式,防砂段通常下入顶部封隔器和隔离封隔器。可控冲击波可作用于整个防砂段。考虑冲击波作用时幅值较高,需评价冲击波对封隔器密封性能的影响。因此,设计了封隔器安全评价实验工装,如图 5 所示。

封隔器工装设计 3 个作业点位,距离密封段的距离分别为 0.9 m、2.4 m 和 3.9 m。实验时,将封隔器评价工装放置于水槽中,下入可控冲击波发生工具,多次触发可控冲击波发生装置,每次冲击后对封隔器进行打压验封。

实验结果表明,可控冲击波累计冲击 37 次后,隔离封隔器耐压不低于 21 MPa(稳压 10 min),满足工具使用标准。

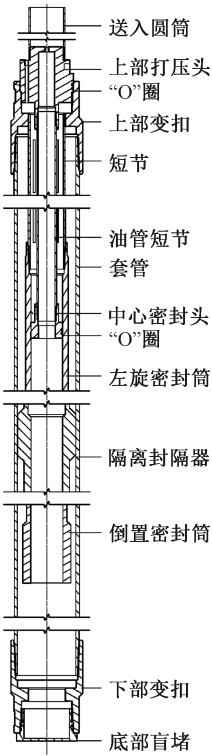


图 5 封隔器安全评估实验工装结构示意图
Fig. 5 Experiment of packer safety assessment

3.2.3 含能材料运输安全性

可控冲击波的能量是利用金属丝电爆炸产生的等离子体驱动含能材料释能而来的,含能材料只有在上述极端特殊的驱动条件下才会起爆,故地面运输安全可靠。

3.3 工艺实施可行性评价

可控冲击波发生装置分为井上和井下两部分。井上设备为电源控制柜;井下设备主要由直流高压电源、储能电容器、能量控制器、能量转换器和负载推送装置组成。工作中,需要通过电缆或连续油管将井下部分送至井下射孔段,不受场地限制。可控冲击波透遇工艺技术可根据不同的储层特点、完井方式等优选含能材料配方、冲击位置和冲击次数,工艺技术适用于大多数井况,最高适用储层温度 80 ℃,可覆盖渤海油田 80% 的油水井。一次下井作业可冲击 20 次,按照每个作业点冲击 4 次,每个作业点间隔 2 m,单次下井作业可作用于 10 m 厚的储层。

为进一步评估可控冲击波发生工具和工艺的可靠性,选择陆地煤层气井开展矿场试验。矿场试验三井次,冲击作业 11 个作业点位,单点冲击 5-8 次,累计冲击 70 余次。现场作业时,需测井车和吊车配合。通过此次矿场试验,验证了可控冲击波发

生工具及该项工艺的可靠性,为海上油田应用奠定基础。

3.4 复合酸化技术可行性

可控冲击波增透工艺技术是一种低成本高效的新型物理法解堵增透工艺技术,可在近井地带2~3 m 范围内形成复杂缝网。待缝网形成后,注入酸化工作液体系,可扩大酸化有效作用半径,形成永久性不闭合裂缝,可协同发挥物理增透和酸化解堵的作用,达到“1+1>2”的目的。

3.5 技术经济可行性

可控冲击波增透工艺技术相对于水力压力、酸化、爆燃压裂等措施,投入小,作业方式简单,作业时间短。作业成本仅为水力压裂成本的10%、酸化成本的30%、爆燃压裂成本的60%。工艺实施后,若在近井地带形成3~5条裂缝,油井产能预计将达到原有产能的1.5~3.0倍。

可控冲击波作为一种新型储层改造技术,具有成本低、适用范围广、见效快、作业简单等优势,可与现有增产措施形成技术优势互补,为低产低效油水井的治理提供新的解决方案。

4 结论

(1)可控冲击波增透工艺技术可有效解决油水井近井地带污染、筛管堵塞、低孔低渗导致的油井低产和水井难注入等问题,可与酸化、水力压裂、爆燃压裂等增产措施形成技术互补,可发展为一种适合海上油田的低成本高效的新型物理法解堵增透工艺技术。

(2)可控冲击波适用储层范围广,可实现高渗解堵增透,低渗致裂增透,适用于适用于套管射孔、筛管等多种完井方式,且不损伤套管、筛管,不影响井下封隔器密封性能,工艺实施简单,作业成本优势明显,可为海上油田低产低效油水井的治理提供新的解决方案。

(3)针对海上油田储层、井筒的特殊性,可进一步研发大能量、耐高温、小尺寸(实现不同管柱作业)的可控冲击波增透装备,并研发配套的冲击参数优化及裂缝模拟技术。

致谢:感谢中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司和中海油深圳分公司同意本文公开发表;感谢中海油能源发展股份有限公司“可控冲击波增透工艺技术及装备研究”项目组、中海油深圳分公司生产作业部和南海东部石油研究院相关技术人员的大力支持。

参考文献

- [1] 潘亿勇. 海上油田非均质砂岩储层高效酸化增产增注技术研究[D]. 成都:西南石油大学,2017.
PAN Yiyong. Study on the high efficient acidizing technology of heterogeneous sandstone reservoirs in offshore oilfield [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2017.
- [2] 张宏友,陈晓祺,王美楠,等. 海上特低渗碳酸盐岩油藏酸化效果分析[J]. 油气井测试,2019,28(1):67-71.
ZHANG Hongyou, CHEN Xiaoqi, WANG Meinan, et al. Acidification effect of offshore ultra-low permeability carbonate reservoir [J]. Well Testing, 2019,28(1):67-71.
- [3] 徐文江,肖茂林,孙兴旺,等. 海上低渗透油田水平井多级压裂先导试验[J]. 中国海上油气,2017,29(6):108-114.
XU Wenjiang, XIAO Maolin, SUN Xingwang, et al. Pilot test of multi-stage fracturing technology for horizontal wells in offshore low permeability reservoirs [J]. China Offshore Oil and Gas, 2017,29(6):108-114.
- [4] 姚锋盛,曹冰,胡忠太,等. 东海低渗气藏脉冲式加砂压裂技术[J]. 油气井测试,2019,28(3):42-48.
YAO Fengsheng, CAO Bing, HU Zhongtai, et al. Pulse sanding fracturing technology for low permeability gas reservoirs in the East China Sea [J]. Well Testing, 2019,28(3):42-48.
- [5] 肖宇,孙尧尧,贺敬聪. 注水井微压裂技术在渤海某油田的应用效果评价[J]. 海样石油,2018,38(3):36-38.
XIAO Yu, SUN Yaoyao, HE Jingcong. Application and evaluation of micro-fracturing technique in the injection well of Bohai Oilfield [J]. Offshore Oil, 2018,38(3):36-38.
- [6] 孙林,宋爱莉,易飞,等. 爆压酸化技术在中国海上低渗油田适应性分析[J]. 钻采工艺,2016,39(1):60-62.
SUN Lin, SONG Aili, YI Fei, et al. Analysis of deflagrate fracturing technology adaptability in China offshore low permeability oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(1):60-62.
- [7] 黄波,熊培祺,孙林. 海上砂岩油藏爆燃压裂数值模拟技术研究[J]. 中国科技论文,2018,13(11):1319-1324.
HUANG Bo, XIONG Peiqi, SUN Lin. Numerical simulation technology of deflagration fracturing in offshore sandstone reservoir [J]. China Sciencepaper, 2018,13(11):1319-1324.
- [8] 孙林,杨万有,易飞,等. 筛管完井爆燃压裂技术可行性研究[J]. 特种油气藏,2017,24(4):161-165.
SUN Lin, YANG Wanyou, YI Fei, et al. Feasibility Research on Liner-completion Deflagration Fracturing Technique [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2017,24(4):161-165.
- [9] 邵长金,罗荣章,孙仁远,等. 利用物理场提高原油产量的基础研究[J]. 石油学报,1997,18(3):63-70.
SHAO Changjin, LUO Rongzhang, SUN Renyuan, et al. A basic research on applying physical field to increase crude oil

- production [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(3): 63-70.
- [10] 于波,陶德硕,吕远,等. 物理法采油新技术发展综述[J]. 中国西部科技, 2009, 8(35): 11-12.
- YU Bo, TAO Deshuo, LYU Yuan, et al. Review of the new technology development of physical oil production [J]. Science and Technology of West China, 2009, 8(35): 11-12.
- [11] 陆小兵,王守虎,隋蕾,等. 电脉冲解堵增注机理分析及应用[J]. 天然气与石油, 2011, 29(6): 61-62, 79.
- LU Xiaobing, WANG Shouhu, SUI Lei, et al. Analysis and application of electronic pulse de-plugging and injection-adding mechanism [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(6): 61-62, 79.
- [12] 石道涵,王栋林,刘书炳. 电脉冲解堵技术增产机理分析及应用[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(3): 73-74.
- SHI Daohan, WANG Donglin, LIU Shubing. Analysis and application on the mechanism of plug removal with electric plus [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2002, 24(3): 73-74.
- [13] 周海滨,韩若愚,吴佳玮,等. 水中铜丝电爆炸放电通道模型及仿真[J]. 高电压技术, 2015, 41(9): 2943-2949.
- ZHOU Haibin, HAN Ruoyu, WU Jiawei, et al. Model and simulation study of discharge channel during underwater Cu wire explosion [J]. High Voltage Engineering, 2015, 42(9): 2943-2949.
- [14] 李军军,郝春生,王维,等. 等离子脉冲技术提高煤层气田采收率的理论与实践[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(5): 193-198.
- LI Junjun, HAO Chunsheng, WANG Wei, et al. Theory and practice of plasma pulse technology for enhancing coalbed methane recovery [J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(5): 193-198.
- [15] 张永民,邱爱慈,秦勇. 电脉冲可控冲击波煤储层增透原理与工程实践[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 79-85.
- ZHANG Yongmin, QIU Aici, QIN Yong. Principle and engineering practices on coal reservoir permeability improved with electric pulse controllable shock waves [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 79-85.
- [16] 张永民,邱爱慈,秦勇. 可控冲击波增透松软煤层的工程实践[J]. 山西焦煤科技, 2017, 41(8-9): 116-121.
- ZHANG Yongmin, QIU Aici, QIN Yong. Engineering practice on controllable shock wave reinforcement on soft coal seam [J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2017, 42(8-9): 116-121.
- [17] 秦勇,邱爱慈,张永民. 高聚能重复强脉冲波煤储层增渗新技术试验与探索[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(6): 1-7, 70.
- QIN Yong, QIU Aici, ZHANG Yongmin. Experiment and discovery on permeability improved technology of coal reservoir based on repeated strong pulse waves of high energy accumulation [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 1-7, 70.
- [18] 江伟华. 高重复频率脉冲功率技术及其应用:(1)概述[J]. 强激光与粒子束, 2012, 24(1): 10-15.
- JIANG Weihua. Repetition rate pulsed power technology and its applications: (i) Introduction [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2012, 24(1): 10-15.
- [19] 郑建毅,何闻. 脉冲功率技术的研究现状和发展趋势综述[J]. 机电工程, 2008, 25(4): 1-4.
- ZHENG Jianyi, HE Wen. Review of research actuality and development directions of pulsed power technology [J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2008, 25(4): 1-4.
- [20] 郭士生,赵战江,聂锴,等. 海上平台射孔、压裂、测试与水力泵快速返排求产联作测试工艺技术研究与应用[J]. 油气井测试, 2015, 24(1): 41-43.
- GUO Shisheng, ZHAO Zhanjiang, NIE Kai, et al. Technology research and application of combination technology of perforation, fracturing, testing, hydraulic jet pump fast reverse flushing and testing on offshore platform [J]. Well Testing, 2015, 24(1): 41-43.
- [21] 李蕴哲,任泽,王永刚. 小型压裂测试在海上探井压裂的应用与分析[J]. 油气井测试, 2017, 26(5): 53-55, 59.
- LI Yunzhe, REN Ze, WANG Yonggang. Application and analysis of minifrac test in offshore exploratory well [J]. Well Testing, 2017, 26(5): 53-55, 59.
- [22] 于喜艳,苏毅,孙林. 海上低渗储层酸化增效技术及应用[J]. 内蒙古石油化工, 2017, 43(8): 62-66.
- YU Xiyan, SU Yi, SUN Lin. Applications of acidizing enhancement technology in offshore low-permeability reservoir [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2017, 43(8): 62-66.

编辑 王 军

第一作者简介:杨万有,男,1967年出生,硕士,高级工程师,1989年毕业于大庆石油学院油气田开发工程专业,现从事海上采油工艺研究及管理工作。电话:022-66907325, 15122084550;Email:yangwy3@cnoc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区塘沽闸北路3号研究院主楼海油发展工程技术分公司钻采所,邮政编码:300452。