

# 渤海 Q 油田低产井反循环射流泵举升技术

尚宝兵, 吴华晓, 李俊飞, 于法浩, 李越

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院 天津 300452

通讯作者: Email: shangbb@enooc.com.cn

项目支持: “十三五”国家科技重大专项“渤海‘双高’油田宽幅电潜泵举升技术研究及示范”(2016ZX05058-003-019)

引用: 尚宝兵, 吴华晓, 李俊飞, 等. 渤海 Q 油田低产井反循环射流泵举升技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(6): 44-48.

Cite: SHANG Baobing, WU Huaxiao, LI Junfei, et al. Anti-circulation jet pump lifting technology for the low-production wells in Bohai Q Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(6): 44-48.

**摘要** 渤海 Q 油田 P8 井产量较低, 采用电潜泵举升时因地层供液不足、井筒结蜡, 生产效果较差。为实现该井的正常生产, 解决井筒结蜡难题, 利用射流泵排量范围广、井下无运动部件, 体积小, 检泵作业简单、费用低等特点, 进行了射流泵生产试验。采用反循环射流泵管柱, 利用平台的水源并水粗处理后作为动力液, 生产期间, 动力液注入压力维持在 10 MPa 左右, 油井生产稳定, 产液量保持在  $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{d}$ , 实现了低产液量下的正常生产。反循环射流泵举升技术在该井的成功应用, 可为海上油田低产高含蜡井的开发提供一定的借鉴。

**关键词** 低产井; 射流泵; 反循环; 举升; 生产管柱; 动力液; 电潜泵**中图分类号**: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.06.008

## Anti-circulation jet pump lifting technology for the low-production wells in Bohai Q Oilfield

SHANG Baobing, WU Huaxiao, LI Junfei, YU Fahao, LI Yue

Bohai Oilfield Research Institute, CNOOC (China) Tianjin Branch, Tianjin 300452, China

**Abstract:** The development effect of Well P8 in Bohai Q Oilfield using the artificial lifting with electric submersible pump was poor due to the insufficient liquid supply caused by relatively low production rate of and wellbore waxing. In order to maintain the normal well production and prevent the wellbore from waxing, a pilot production test with jet pump was carried out because the jet pump is featured by a wide displacement range, no downhole moving part, small volume, simple pump inspection operation, low cost, etc. Anti-circulation jet pump production string was adopted and driven by the water from the plate water-source well after rough treatment. The power fluid injection pressure was maintained around 10 MPa during the production period. The well shows a stable production with a liquid production of  $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{d}$ , which realizes the normal production under low liquid production rate. The successful application of the anti-circulation jet pump lifting technology in this well could provide certain reference for the offshore oilfield development with low-production and high-wax wells.

**Keywords:** low-production well; jet pump; anti-circulation; lifting; production string; power fluid; electric submersible pump

渤海油田油井产液量相对较高, 人工举升方式一般采用电潜泵<sup>[1-3]</sup>。但是, 对于部分产液量较低、原油黏度较高, 或含蜡量较高的油井, 采用电潜泵举升时由于电潜泵泵效降低、井筒结蜡等问题导致生产效果变差<sup>[4-6]</sup>。针对低产井以及稠油井, 陆上和海上油田均曾探索应用射流泵举升工艺<sup>[7-9]</sup>。2005年, 李家明等针对河南油田的4口低产液井, 引入了射流泵举升工艺, 工艺成功率100%, 累计增产原油3 900 t, 证实了射流泵在低产井举升中的良好适应性<sup>[10]</sup>。2005年, 李成见系统总结了渤海埕

北稠油油田采用电潜泵、螺杆泵和射流泵的应用效果, 发现以用生产污水为动力液的射流泵采油效果最好<sup>[11]</sup>。该油田射流泵运行周期长、检泵作业量少、生产效率高, 降低了采油成本。2008年, 孙宝全针对胜利浅海油田设计应用了射流泵采油工艺系统, 取得了良好的生产效果<sup>[12]</sup>。2012年, 冯卫华等在海洋低孔低渗探井测试中通过引入射流泵排液, 落实了该低产井的产能, 进一步验证了射流泵举升在海上低产井中的应用可行性<sup>[13]</sup>。由此可见, 射流泵举升工艺在低产井举升应用中有

着独特的优势,有利于降低生产成本,实现油井平稳生产。

渤海 Q 油田为轻质原油,地面原油黏度 13.7 mPa·s,地面原油密度 0.84~0.85 g/cm<sup>3</sup>,胶质沥青质含量 12.1%~12.9%,凝固点 29 ℃,含蜡量 16.4%~19.4%,属于低黏、高含蜡和高凝固点原油。该油田 P8 井是 2012 年新投产的一口水平调整井,初期采用电潜泵举升。该井投产后产液量一直较低,采用电潜泵举升时,常由于供液不足而导致欠载停泵。考虑到射流泵适应的排量范围要更广(理论排量范围可达 10~1 000 m<sup>3</sup>/d),且井下无运动部件,体积小,检泵作业简单、费用低,比电潜泵更适于此类低产井的开发<sup>[14-17]</sup>。因此,在该井进行了射流泵生产试验。本文对射流泵的成功应用进行了总结,可以为类似油井的开发提供一定的借鉴。

1 射流泵的应用分析

在 P8 井中采用反循环射流泵管柱,利用平台的水源井水粗处理后作为动力液,实现了低产液量下的正常生产。解决了该井检泵周期短、井筒易结蜡等难题,降低了后期的生产作业费用。

1.1 生产管柱及选泵设计

目前,我国海上油田常用的射流泵管柱主要包括钢丝起下的反循环常规射流泵管柱和用液力投捞的正循环射流泵管柱<sup>[18-20]</sup>。其中,常规射流泵管柱适用于无自溢能力的油井,而液力投捞的射流泵管柱主要用于海上油井的排酸作业。反循环排液生产的优点是携砂能力强,不易导致封隔器的砂埋,这对于地层出砂较为普遍的渤海油田较为适用。

P8 井生产层位为馆陶组,目的层垂深 2 500.0 m,斜深 3 320.0~3 420.0 m,采用优质筛管防砂。该井投产初期采用电潜泵举升,由于供液不足,需要从环空补液生产,且生产过程中存在井筒结蜡的问题,需要从井口注入化学药剂防蜡。在该井电潜泵故障停泵后,为实现平稳生产,改用射流泵举升工艺。

P8 井使用反循环常规射流泵管柱,如图 1 所示。与陆地油田不同,海上射流泵生产管柱中必须安装井下安全阀,以防在发生危险时可以紧急关断。射流泵工作筒位于滑套内;生产时,动力液从油套环空进入射流泵,与地层产出液混合后再从油管产出至地面。

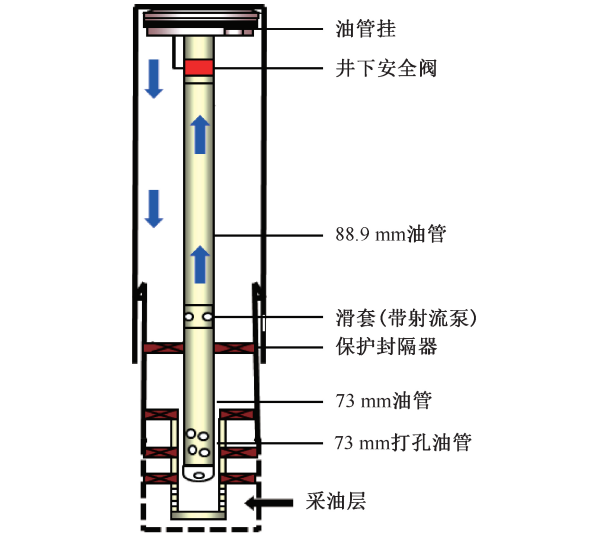


图 1 P8 井射流泵生产管柱结构示意图  
Fig.1 Schematic diagram of the jet pump production string in Well P8

该井正常生产时,产液量为 8~10 m<sup>3</sup>/d。根据产液量、最小气蚀面积等参数,进行了选泵设计,优选喷嘴喉管组合,结果见表 1。

表 1 射流泵选泵设计结果  
Table 1 Design of jet pump optimization

泵型号	泵体外径/ mm	泵下深/ m	动力液量/ m <sup>3</sup>	动力液注入 压力/MPa
C3	23.12	2 800	140~160	9.0~10.5

1.2 动力液处理流程

稳定的动力液来源是射流泵举升的关键。考虑到本油田有水源井,因此采用水源井水经过精细过滤器过滤去除其中的悬浮物后作为射流泵动力液。过滤后的水质指标:含油量不大于 30 mg/L,悬浮物含量不大于 3 mg/L,悬浮物粒径中值不大于 3 μm。动力液泵采用本平台的注水泵,输出压力最高达 20 MPa。动力液具体的处理流程如图 2 所示。

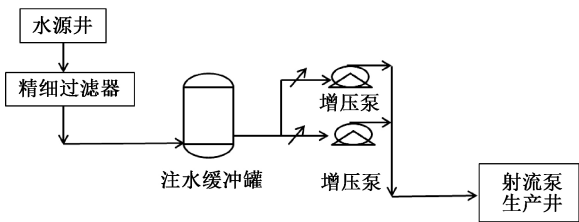


图 2 射流泵动力液处理流程  
Fig.2 Treatment process of jet pump power fluid

1.3 射流泵应用效果分析

分析生产动态数据可以看出,该井采用射流泵举升后,生产比较稳定,且井筒不再结蜡,射流泵采油的效果明显。

### 1.3.1 油井生产稳定

该井于 2014 年下入射流泵生产。生产期间,动力液注入压力维持在 10 MPa 左右,油井生产稳定,产液量保持在  $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{d}$ 。具体生产情况如图 3 所示。在此压力下,射流泵的流量比为 1:17。

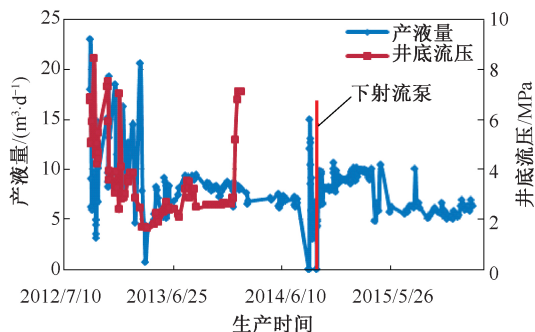


图 3 射流泵举升前后 P8 井生产动态对比  
Fig.3 Production performance comparison of Well P8 before and after jet pump lifting

可以看出,该井投产初期采用电潜泵举升时,生产极不稳定,产液量和井底流压变化幅度较大。而从 2014 年 9 月改用射流泵举升之后,该井的产液量变化相对较小,一直保持平稳的生产。分析认为,这主要是由于对于此种低产井,采用电潜泵举升易导致井底流压急剧下降,泵沉没度过低,从而无法维持泵的正常运行;而射流泵的排量可以达到较低的水平,且可在极低的井底流压下生产。因此,有利于维持低产井的长期稳定生产。

### 1.3.2 作业工期短

目前,渤海电潜泵井的平均检泵周期约为 1 000~1 200 d。而由于射流泵结构简单,井下没有运动部件,且性能可靠,因此检泵周期一般较长。渤海埕北油田曾经利用射流泵进行了较长时间的开发,14 口射流泵井的平均检泵周期达 1 602 d,最长为 5 567 d。P8 井目前已经平稳运行了近 520 d,预测亦可以正常生产较长时间。此外,射流泵的检泵作业通过简单的钢丝作业即可完成,作业工期短,单次作业费用低,降低了射流泵的操作管理费用。

### 1.3.3 防止井筒结蜡

井筒结蜡的主要原因是油井产液温度低于原油的析蜡点温度,导致蜡晶析出并黏附在油管表面<sup>[21-23]</sup>。而利用射流泵举升时,动力液与地层产液混合后从油管产出,使得产出液的含水率升高,这一方面可以减少油流温度的降低,从而不利于蜡晶的析出;另一方面,含水增加后,易在管壁上形成连

续水膜,不利于蜡在管壁上的沉积<sup>[24]</sup>。P8 井采用射流泵举升之后,井筒不再结蜡,从另一方面保证了该井的正常生产。

## 2 讨论与思考

射流泵举升工艺技术在 P8 井的成功应用,验证了该技术对于海上低产井的适用性。但在后续应用中,针对射流泵的动力液来源、适用井况等问题仍需进一步探索。

### 2.1 射流泵动力液来源

P8 井采用射流泵举升,虽然实现了持续稳定生产,但由于在试验阶段是通过水源井单独为该井提供动力液,增大了平台的外输液量以及外输产液的含水率,增加了处理平台油水处理的负担。

而与油田注入水水质相比,射流泵对动力液水质的要求不高,如海上油田水动力液一般要求悬浮物浓度不大于 15 mg/L,悬浮物粒径中值不大于 10  $\mu\text{m}$ 。因此,为提高射流泵开发的经济效益,可以参考埕北油田射流泵举升时的生产模式,将本油田生产分离器分离出的生产污水,通过精细过滤器初步处理除砂后直接作动力液使用,如图 4 所示,从而可以在不增加本平台及处理平台油水处理负担的条件下,实现 P8 井的稳定生产。

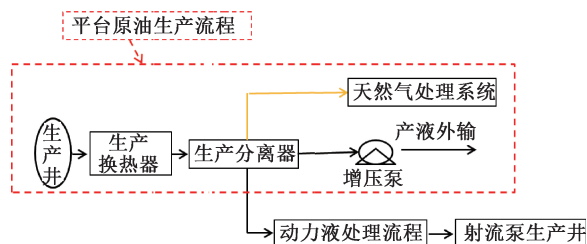


图 4 改造后的现场流程示意图  
Fig.4 Schematic diagram of field process after improvement

### 2.2 射流泵在海上油田应用前景

P8 井射流泵举升的成功应用对渤海其它油田或油井的开发提供了很好的借鉴。海上油田油井产液量相对较高、平台面积有限、油水处理能力受限,从而限制了射流泵在海上油田的大规模应用。但是,针对平台上部分低产、低效井,采用电潜泵举升时,往往会出现能耗较高、检泵周期较短的问题,可以针对这些油井采用射流泵举升,利用平台分离出的生产污水作动力液,降低射流泵的应用成本,从而实现这部分低产低效井的高效举升。此外,鉴于射流泵在旅大 27-2 油田稠油井中的应用,未来

射流泵亦可用于部分稠油井、结蜡严重的井中,利用射流泵举升特性来解决这些油井生产中出现的问题<sup>[25]</sup>。

### 3 结论

(1) P8 低产井采用射流泵举升有效解决了电潜泵举升欠载、井筒结蜡等问题,生产运行更加平稳,实现了海上油田低产高含蜡井的长期稳定生产。

(2) 射流泵采油系统维护简单、作业工期短,有利于降低生产操作费用。

(3) 为减小海上平台油水处理负荷,需要进一步优化射流泵生产工艺流程,可采用平台生产污水作动力液,降低生产成本。

(4) 未来,射流泵亦可用于部分稠油井、结蜡严重的井中,利用射流泵举升特性解决油井生产中出现的问题。

**致谢:**感谢中海石油(中国)有限公司天津分公司允许本文发表;感谢渤海石油研究院各级领导和同事在项目研究、技术现场应用,以及文章撰写上提供的帮助。

### 参考文献

- [1] 纪树立. 耐高温潜油电泵关键技术 in 渤海油田的应用[J]. 钻采工艺, 2017, 40(3): 120-123.  
JI Shuli. Application of key technology of high temperature-resistant electrical submersible pump in Bohai Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(3): 120-123.
- [2] 卢中原, 马英文, 张兴华, 等. 电潜泵与螺杆泵水循环加热联作测试技术及其在渤海油田大斜度稠油井的应用[J]. 中国海上油气, 2016, 28(3): 127-131.  
LU Zhongyuan, MA Yingwen, ZHANG Xinghua, et al. ESP and PCP water circulation heating combination technology and its application for heavy oil in highly deviated wells in Bohai oilfields [J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(3): 127-131.
- [3] 李楠. 高凝油井水力泵排液参数分析及优化[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 14-19.  
LI Nan. Analysis and optimization of discharge parameters of hydraulic pump in high pour-point oil well [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 14-19.
- [4] 郭太现, 苏彦春. 渤海油田稠油油藏开发现状和技术发展方向[J]. 中国海上油气, 2013, 25(4): 26-30, 35.  
GUO Taixian, SU Yanchun. Current status and technical development direction in heavy oil reservoir development in Bohai Oilfields [J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(4): 26-30, 35.
- [5] 刘艳英, 崔刚, 蒋维军, 等. 往复式潜油电泵在渤海油田的研究及应用[J]. 钻采工艺, 2017, 40(3): 81-83.

- LIU Yanying, CUI Gang, JIANG Weijun, et al. Development of reciprocating electric submersible pump at Bohai Oilfield and its application [J]. Drilling and Production Technology, 2017, 40(3): 81-83.
- [6] 李伟超, 刘平, 于继飞, 等. 渤海稠油油田井筒电加热技术可行性分析[J]. 断块油气田, 2012, 19(4): 513-516.  
LI Weichao, LIU Ping, YU Jifei, et al. Feasibility analysis on electric heating of wellbore in heavy oilfield of Bohai [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(4): 513-516.
- [7] 纵封臣, 齐桃, 李伟超, 等. 海上稠油井筒降黏及配套举升工艺[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(3): 47-50.  
ZONG Fengchen, QI Tao, LI Weichao, et al. Viscosity reducing and integrated artificial lift techniques for heavy oil wellbore in offshore oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(3): 47-50.
- [8] 高科超, 高飞, 杨子, 等. 渤海油田普通稠油冷采测试工艺[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 38-45.  
GAO Kechao, GAO Fei, YANG Zi, et al. Cold production testing technology for heavy oil well in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 38-45.
- [9] 周守为. 海上稠油高效开发新模式研究及应用[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(5): 1-4.  
ZHOU Shouwei. The study and application of new mode of effective development of offshore heavy oilfield [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(5): 1-4.
- [10] 李家明, 吴荷香, 吴太平, 等. 油井增效射流泵的研制[J]. 钻采工艺, 2005, 28(3): 80-81, 101.  
LI Jiaming, WU Hexiang, WU Taiping, et al. Development of a jet pump for increasing oil well production [J]. Drilling and Production Technology, 2005, 28(3): 80-81, 101.
- [11] 李成见. 射流泵在渤海埕北稠油油田的成功应用[J]. 中国海上油气, 2005, 17(2): 108-111.  
LI Chengjian. The successful application of hydraulic jet pump in Bohai Chengbei Viscous Oilfield [J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(2): 108-111.
- [12] 孙宝全. 海上油田水力喷射泵采油工艺技术[J]. 石油机械, 2008, 36(10): 60-61, 64.  
SUN Baoquan. Production technology of hydraulic jet pump in offshore oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2008, 36(10): 60-61, 64.
- [13] 冯卫华, 宋新华. 射流泵在海洋探井测试中的应用[J]. 油气井测试, 2012, 21(3): 38-39.  
FENG Weihua, SONG Xinhua. Application of jet-pump tech in well test operation of offshore exploration well [J]. Well Testing, 2012, 21(3): 38-39.
- [14] 张宏录, 谭均龙, 易成高, 等. 草舍油田 CO<sub>2</sub> 驱高气油比井举升新技术[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(2): 87-91.



- ZHANG Honglu, TAN Junlong, YI Chenggao, et al. New lifting technology for CO<sub>2</sub> flooding wells with high GOR in Caoshe Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(2): 87-91.
- [15] 孙永涛, 马魁魁, 陆爱华. 浅海试油排液工艺的对比及优选[J]. 油气井测试, 2010, 19(3): 33-35.
- SUN Yongtao, MA Kuikui, LU Aihua. Comparison and optimization of oil test tech at shallow sea [J]. Well Testing, 2010, 19(3): 33-35.
- [16] 刘士旺, 王衍, 祝长友, 等. 射流泵排液试油工艺的改进与完善[J]. 油气井测试, 2008, 17(3): 57-58, 60.
- LIU Shiwang, WANG Yan, ZHU Changyou, et al. Development of oil test tech with hydraulic pump and its completion [J]. Well Testing, 2008, 17(3): 57-58, 60.
- [17] 李楠. 高凝油井水力泵排液参数分析及优化[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 14-19.
- LI Nan. Analysis and optimization of discharge parameters of hydraulic pump in high pour-point oil well [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 14-19.
- [18] 薛清祥, 刘攀峰, 杨建林, 等. 螺杆泵与喷射泵在水平井措施排液中的对比应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(2): 61-63.
- XUE Qingxiang, LIU Panfeng, YANG Jianlin, et al. Contrast and application of screw pump and jet pump in drainage measures to horizontal well [J]. Well Testing, 2016, 25(2): 61-63.
- [19] 王晓和, 颜廷俊, 谢双喜, 等. 基于节能的海上平台用射流泵注水系统研究[J]. 石油机械, 2017, 45(10): 47-52.
- WANG Xiaohe, YAN Tingjun, XIE Shuangxi, et al. Study on jet pump water injection system for offshore platform based on energy conservation [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(10): 47-52.
- [20] 刘正伟, 解广娟, 杨程, 等. 稀油作动力液射流泵技术在旅大稠油油田的应用[J]. 海洋石油, 2010, 30(4): 76-80.
- LIU Zhengwei, XIE Guangjuan, YANG Cheng, et al. Technology of hydraulic jet pump using light oil as power fluid in LD heavy oil field [J]. Offshore Oil, 2010, 30(4): 76-80.
- [21] 郑春峰, 魏琛, 张海涛, 等. 海上油井井筒结蜡剖面预测新模型[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(4): 103-109.
- ZHENG Chunfeng, WEI Chen, ZHANG Haitao, et al. A new forecasting model of a wellbore wax deposition profile in a offshore well [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(4): 103-109.
- [22] 高永海, 刘凯, 赵欣欣, 等. 深水油井测试工况下井筒结蜡区域预测方法[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(2): 333-338.
- GAO Yonghai, LIU Kai, ZHAO Xinxin, et al. Prediction of wax precipitation region in wellbore during deep water oil well testing [J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(2): 333-338.
- [23] 石岩, 李立文, 左虎, 等. 浅层套管漏失井监测与治理技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 55-60.
- SHI Yan, LI Liwen, ZUO Hu, et al. Monitoring and treatment technology for shallow casing leakage well [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 55-60.
- [24] 纵封臣, 齐桃, 李伟超, 等. 海上稠油井筒降黏及配套举升工艺[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(3): 47-50.
- ZONG Fengchen, Qi Tao, LI Weichao, et al. Viscosity reducing and integrated artificial lift techniques for heavy oil wellbore in offshore oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(3): 47-50.
- [25] 张大椿, 唐善法, 丁洪坤, 等. 水力喷射泵举升稠油掺稀比影响因素研究[J]. 断块油气田, 2009, 16(4): 92-94.
- ZHANG Dachun, TANG Shanfa, DING Hongkun, et al. Influential factors of lending atio in heavy oil lifting with hydraulic jet pump [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(4): 92-94.

编辑: 刘振庆

**第一作者简介:** 尚宝兵, 男, 1988 年出生, 硕士研究生, 工程师, 2014 年毕业于中国石油大学(北京)油气田开发专业, 现从事采油工程方案设计、注水工艺设计相关研究工作。电话: 022-66501171, 13821812710; Email: shangbb@cnooc.com.cn。通信地址: 天津市滨海新区海川路 2121 号渤海石油管理局大厦 B 座, 邮政编码: 300452。