

大港油田密封式涡流排水采气技术

郭秀庭¹, 胡洪亮², 任世举¹, 强华¹, 王军恒¹, 郑悦³

- 1. 中国石油大港油田公司石油工程研究院 天津 300280
- 2. 中国石油大港油田公司油气藏评价事业部 天津 300280
- 3. 中国石油勘探开发研究院油气开发战略规划研究所 北京 100083

通讯作者: Email: guoxing@petrochina.com.cn

引用: 郭秀庭, 胡洪亮, 任世举, 等. 大港油田密封式涡流排水采气技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(6): 22-26.

Cite: GUO Xiuting, HU Hongliang, REN Shiju, et al. Sealed vortex technology for gas well deliquification in Dagang Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 22-26.

摘要 现有涡流排水采气技术的井下涡流工具与油管内径之间存在着间隙, 与 $\phi 73$ mm 油管内径间隙面积相当于 $\phi 26.6$ mm 油嘴面积, 流经此面积的气体未被有效利用, 并干扰其它正常涡流气体携水, 限制了应用范围。密封式涡流排水采气技术通过预置密封装置, 装在密封预置式涡流排水采气管柱上, 采用弹性体密封涡流排水采气工具与油管内径之间的间隙, 使气体完全进入螺旋体用来携水增气。现场两口井应用表明, 该技术工艺成功率 100%, 有效率 100%, 平均日增气幅度 187.1%, 累计增气 915 456 m³, 创效 240.19 万元, 增产效果显著。该技术扩大了涡流排水采气技术的应用范围, 为油田增气上产提供了一项有效的技术手段。

关键词 低产气井; 试气; 排水采气; 密封式涡流工具; 螺旋体; 采气周期

中图分类号: TE377 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.06.004

Sealed vortex technology for gas well deliquification in Dagang oilfield

GUO Xiuting¹, HU Hongliang², REN Shiju¹, QIANG Hua¹, WANG Junheng¹, ZHENG Yue³

- 1. Petroleum Engineering Research Institute of PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China
- 2. Oil and Gas Reservoir Evaluation Department of PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China
- 3. Research Institute of Oil and Gas Development Strategy, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Beijing 100083, China

Abstract: The gap between the downhole vortex tool and the inner diameter of the tubing in the existing vortex gas well deliquification technology makes the gap area in the $\phi 73$ mm tubing equivalent to the area of the $\phi 26.6$ mm nozzle, and the gas flowing through this area is not effectively utilized and influences the deliquification of normal vortex gas, which limits the application range. The sealed vortex gas well deliquification tool is installed on the sealed preset vortex gas well deliquification string by preset a sealing device. It can allow all the gas flow into the spiral body to carry water using the elastic device to seal the gap between the vortex gas well deliquification tool and the inner diameter of tubing. The field application of two wells showed a success rate of 100%, an effective efficiency of 100%, an average daily gas increase of 187.1%, a cumulative gas production increase of 915456 m³, and an increased benefit of 2.4019 million RMB. The technology expands the application range of vortex gas well deliquification technology, and provides an effective technical means for enhancing gas production.

Keywords: low-production gas well; gas well testing; gas well deliquification; sealed vortex tool; spiral body; gas production cycle

大港油田主要生产气区块为板桥凝析气藏和北大港干气气藏, 由于受到储层中束缚水、层间水、层内水、边水、底水单体或混合体影响, 有 70% 以上气井中、后期将出现井底积水现象^[1]。针对此问题, 为维持正常采气生产, 在排水方面, 大港油田一般采用三种技术方法: (1) 定期氮气排水方法^[2-3]。待井底积

水使气产量下降时, 依靠液氮泵车或自制氮气泵车往井内注氮气, 排出积水, 恢复产量, 但此方法施工费用高, 不连续, 不适合长期排水; (2) 泡排方法^[4-5]。往井内注液体起泡剂或固体起泡剂, 以此降低井筒液柱压力, 气泡带水增气, 此方法施工费用高, 不连续, 不适合长期排水; (3) 压缩天然气排水采气方

法^[6-8]。把一定量的高压天然气通过油套环空经气举阀连续不断地注入油管,在油管内与井液充分混合形成混合流体,从而降低井液密度,增大生产压差,实现举升井底积液目的,但此方法需配备天然气压缩机,前期费用投入大。针对涡流排水采气技术,前期已有多家单位及个人开展此项研究与实践,取得了一定技术成果^[9-12]。郝帆帆^[13]指出,在采气过程中,气井常出现气水同产现象,产水量不断增加对天然气生产构成了严重威胁。王毅忠等^[14]提出最小携液临界流量对于地层能量充足时气藏前期的生产没有影响,但是对于后期地层能量不足时的生产有着非常大的影响。耿新中等^[15]论述了气井积液停产后,一般都需要实施机械抽汲、液氮气举等工艺诱喷,施工周期长、配套工艺条件要求高,成本高,特别是经常性积液的气井,实施机械抽汲、液氮或气举诱喷,经济上也不允许。于鹏等^[16]针对美国油气田采收率、延长开采寿命的研究项目,开展了涡流技术的组织实施、测试、验收。郭秀庭等^[17]针对气井提高气产量及最终采收率的技术瓶颈问题,为提高气井排水采气效果,最大限度提高气层采收率,研发出间隙式排水采气技术,并研制了旋流排水采气技术的相关工具,解决了气井积液问题。通过带压不压井钢丝作业下入旋流排水采气工具,有效减少了常规起下管柱压井作业对气井的伤害,成为一项非常有发展前途的排水采气新技术。冯翠菊等^[18]根据气液两相流理论,应用 SolidWorks 软件建立涡流工具模型,应用 Fluent 软件进行仿真计算分析,提出天然气流速对涡流工具的排液效果有很大的影响,气流速度越大,涡流工具的排液效果越好;当气流速度达到一定值时,排液效果将保持不变。井底含水体积分数对涡流工具的排液效果有很大影响,含水体积分数低于 10% 时,涡流工具排液效果不明显;含水体积分数高于 10% 时,含水体积分数越高,工具的排液效果越好,螺旋片正截面矩形比梯形的排液效果更理想。

综合研究前人排液求产的技术优势^[19],大港油田研发了新型密封式涡流排水采气技术,该技术具有连续排水、费用低等优势,有效克服了常规排水采气技术存在的不足,在大港油田两口井现场实用证明,排水采气效果显著,为积水气井提高产量提供了一项有效技术手段。

1 密封式涡流器设计

通过研究间隙式涡流排水采气工具,设计了密

封式涡流器,主要包括设计思路、结构、工作原理及技术参数。

1.1 密封式涡流器设计思路

现有的间隙式涡流排水采气工具与油管内径之间存在着间隙,与 $\phi 73\text{ mm}$ 油管内径间隙面积相当于 $\phi 26.6\text{ mm}$ 油嘴面积,流经此面积的气体未被有效利用,并起到干扰其它正常涡流气体携水的副作用,限制了应用范围。现有的间隙式涡流排水采气管柱如图 1 所示。

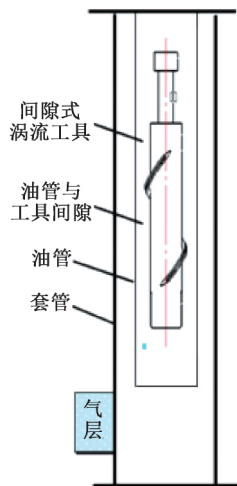


图 1 间隙式涡流排水采气管柱图

Fig.1 Diagram of gap vortex gas well deliquification string

针对现场某些气井放置了涡流工具仍然存在排液困难的问题,研制开发了密封式涡流器,密封涡流排水采气工具与油管内径之间没有间隙,从而克服常规间隙式涡流排水采气技术近 53% 气体未被利用的问题,密封涡流排水采气管柱如图 2 所示,通过涡流体密封结构的设计使 100% 气体完全进入螺旋体用来携水增气。

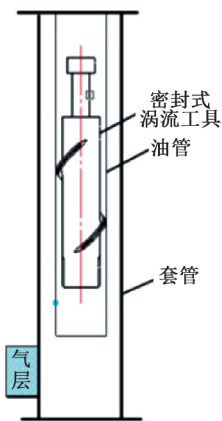


图 2 密封式涡流排水采气管柱图

Fig.2 Diagram of sealed vortex gas well deliquification string

1.2 密封式涡流器结构

通过不断地改进和完善,形成了密封式涡流器。密封式涡流器主要由打捞部分、排水采气部分、密封部分、锚定部分四部分构成。其中打捞部分主要由打捞头、鱼脖子组成;排水采气部分主要由螺旋体、预置筒等组成;密封部分主要由皮碗、弹性体、锥体等组成;锚定部分主要由锚爪、钢丝栓组成。密封式涡流器其具体结构如图 3 所示。

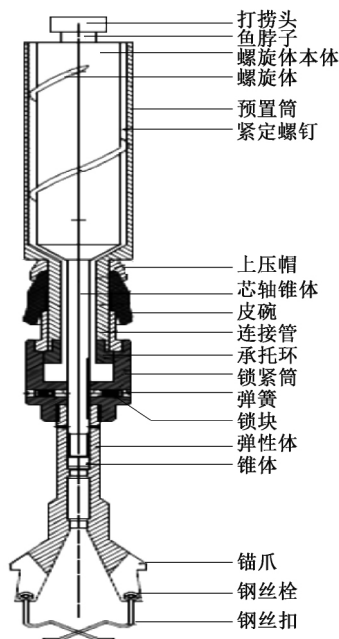


图 3 密封预置式涡流排水采气装置示意图

Fig.3 Schematic diagram of sealed preset vortex gas well deliquification device

1.3 密封式涡流器工作原理

当气液两相流进入涡流工具时,井下涡流工具螺旋结构使得流体沿着螺旋面旋转,使不同密度的多相介质分离,密度较大的水甩向管壁处于外侧,天然气位于中心,原油位于中间,形成涡旋分层流态,这种流态气体不需要拖着液滴向上流动,使得多相流流动所耗费的能量减少,降低了井筒回压,提高了气体携水能力。密封式涡流工具通过预置密封装置,装在密封预置式涡流排水采气管柱上,涡流具有携带能力更强的特性,能把 100% 气体全部利用上,更有利于涡流进行气体、液体和固体颗粒的运送。

1.4 密封式涡流器技术参数

- (1) 耐温: 150 ℃;
- (2) 耐压: 35 MPa;
- (3) 适用油管内径: $\phi 62$ mm、 $\phi 89$ mm;
- (4) 最大外径: $\phi 56$ mm、 $\phi 70$ mm。

2 密封式涡流排水采气工艺设计

研究开发的涡流排水采气技术采用密封式涡流器结构,能把全部气体利用上。其采气工艺管柱如图 4 所示。

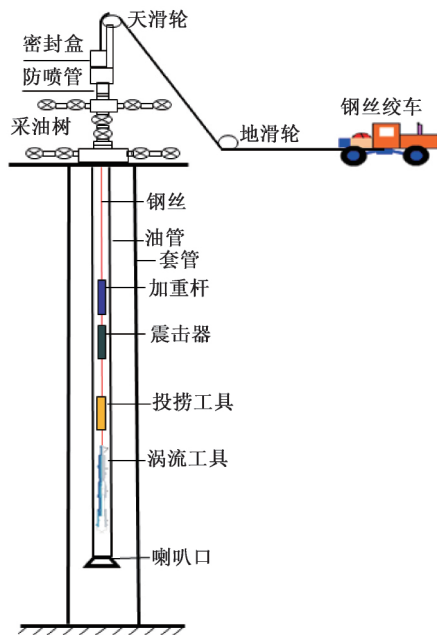


图 4 密封预置式涡流排水采气管柱示意图

Fig.4 Schematic diagram of sealed preset vortex gas well deliquification string

工艺步骤如下: (1) 安装井口防喷装置; (2) 钢丝下入通管规通油管; (3) 钢丝下入密封式涡流工具至设计深度; (4) 上提坐卡涡流工具; (5) 震击解脱密封式涡流工具, 起出钢丝及投入工具; (6) 涡流排液采气生产; (7) 如需打捞, 则下捞取工具即可。

3 现场应用

ZHH4-15 井位于羊二庄油田五断块, 2015 年 4 月 10 日开钻, 21 日完钻, 完钻井深 1 994.00 m, 人工井底 1 982.68 m, 最大井斜 18.23°, 表层套管 244.50 m, 油层套管 139.70 m, 目的层位为馆二段, 采气井段 1 174.7~1 482.2 m, 井内 $\phi 73$ mm 油管底带射孔枪。涡流排水采气前产量 $\phi 4$ mm 油嘴日产气 6 794 m³, 油压 4.06 MPa, 套压 6.16 MPa。2017 年 5 月 9 日进行涡流排水采气施工作业, 其涡流排水采气管柱如图 5 所示。

具体施工步骤如下:

(1) 装井口压力表: 施工前了解并记录气井的生产情况。关清蜡阀门, 放压, 卸压力表, 改装在生产闸门侧翼。

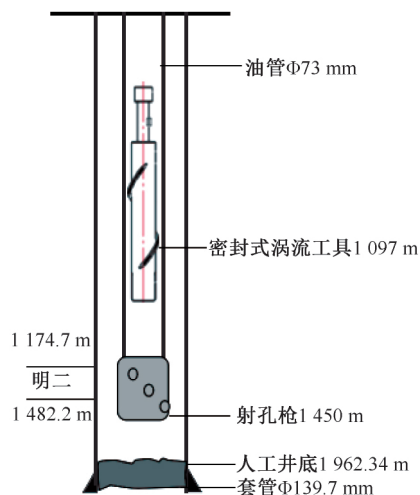


图5 ZH4-15井涡流排水采气管柱图

Fig.5 Schematic diagram of vortex gas well deliquification string for Well ZH4-15

(2)摆车、组装防喷管组合并试压:摆放钢丝绞车,装天、地滑轮,依次连接刮管工具(包括绳帽、刮蜡片、铅锤),放入防喷管内,测量并记录防喷管及工具串的尺寸。用吊车装防喷管组合,安装好防喷管组合后,用本井油压对防喷管组合试压合格。

(3)刮蜡:分别采用 $\phi 51$ mm、 $\phi 52$ mm、 $\phi 57$ mm刮蜡片依次刮蜡三次,深度1 130 m。

(4)通管:①依次连接通管工具(包括绳帽、加重杆、震击器、通管规),放入防喷管内;②用吊车安装防喷管,计数器归零,开清蜡阀门,用钢丝匀速平稳下放通管工具串。距井口100 m内下放速度不超过30 m/min,其后下放速度不超过100 m/min,通管深度1 330 m。中途严禁猛刹猛放,如果发生工具串严重遇阻,必须立即停止作业,考虑其它处理方案;③工具串下放至1 300 m之前100 m时减速30 m/min;④将工具串匀速上提,上提速度不超过80 m/min,最后100 m上提速度不超过30 m/min,距井口15 m内上提速度不超过10 m/min,将绳帽拉至防喷管顶部,然后关闭清蜡阀门,打开防喷管放空阀排气泄压;⑤卸开防喷管与防喷器的连接,将防喷管吊离;⑥检查工具串表面有无明显划痕及泥沙、污物,并检查灵活性,清除表面污物;⑦卸下通管规;⑧录取数据。

(5)投放涡流工具:①依次连接绳帽、加重杆、震击器、投放装置、涡流工具(下井时涡流工具的涨紧弹簧卡在弹簧销上),测量并记录防喷管及工具串的长度,防喷管长度应大于工具串长度,将连接好的工具串放入防喷管内;②计数器归零后,开清蜡阀门,将工具串匀速平稳下放,前50 m下放速度

不超过15 m/min,其后下放速度不超过60 m/min,中途严禁猛刹猛放;③涡流工具下放至设计投放深度前30 m,下放速度不超过10 m/min,下放至设计投放深度1 102 m,将工具串匀速上提5 m,快速下放管柱串,涡流工具的弹性体卡在油管接箍缝隙内,投放装置剪销剪断,锥体进入弹性体的内锥面卡在里面,坐卡深度1 097.0 m;④震击解脱密封式涡流工具,起出钢丝及投入工具,将绳帽拉至防喷管顶部,然后关闭清蜡阀门,打开防喷管放空阀排气泄压;⑤依次拆卸吊离防喷管、防喷器及转换接头,拆卸工具串;⑥做好相应记录,清理作业现场。

2017年5月9日至7月1日,历时53 d,ZH4-15井采用涡流排水采气管柱生产,其采气生产曲线如图6所示。

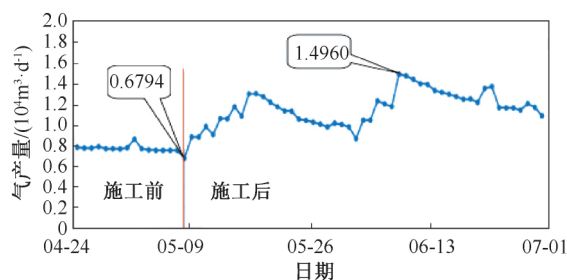


图6 ZH4-15井涡流采气生产曲线

Fig.6 Vortex gas production curve of Well ZH4-15

由图6可见,采用涡流排水技术后,ZH4-15井日产气量由施工前的6 794 m³最高达到14 960 m³,平均日增气4 206 m³,累计增产气222 918.0 m³。

采用同样的方法,在ZH4-16井进行施工,产气量由施工前的4 257 m³/d最高达到15 071 m³/d,产量提高幅度达到254%,累计增产气594 636 m³。ZH4-16井、ZH4-15井两口井平均气量提高187.1%,累计增气817 554.0 m³。

4 结论

(1)密封式涡流工具工作时与油管内壁之间无间隙,提高了涡流工具的排水增气性能,扩大了涡流排水采气技术的应用范围。

(2)涡流排水采气工艺不需要压井,不关井停产,通过钢丝作业即可下入密封式涡流排水采气工具。油田气井开采后期地层大部分出水、井底积水、甚至被水淹的井,采用此技术将延长气井开采期,前期投入少,后期无投入。

(3)密封式涡流排水采气工艺现场成功应用两口井,效果显著,为油田增气上产提供了一项有效的技术手段。

致谢:论文编写过程中,得到了大港油田采油二厂王雪松的指导,也得到了采油二厂技术人员和施工人员的大力支持,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 乐宏,唐建荣,葛有琰,等. 排水采气工艺技术[M]. 北京:石油工业出版社,2011:40-66.
- [2] 万仁溥,罗英俊. 采油技术手册[防砂技术][M]. 北京:石油工业出版社,1991:67-82.
- [3] 杨川东. 采气工艺[M]. 北京:石油工业出版社,1977:3-40.
- [4] SURENDRA M, FALCONE G, TEODORIU C. Investigation of swirl flows applied to the oil and gas industry [C]. SPE 115938, 2008.
- [5] 夏斌.定向气井泡沫排水技术研究[J]. 钻采工艺,2007,30(5):149-150,152.
XIA Bin. Foam damage technology in directional well [J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(5): 149-150,152.
- [6] 赵玉新. FLUENT 技术基础及应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2010:33-44.
- [7] 王柳,付善勇,徐境.毛细管加注泡沫排水采气新技术[J].海洋石油,2009,29(3):63-66.
WANG Liu, FU Shanyong, XU Jing. A new technology of dewatering gas lift by bubble through capillary [J]. Offshore Oil, 2009,29(3):63-66.
- [8] 杜坚,周洁玲. 深井低压底水超声排水采气方法研究[J]. 天然气工业,2004,24(6):86-88.
DU Jian, ZHOU Jieling. Water-removing and gas-recovering method of deep wells with low pressure and bottom water [J]. Natural Gas Industry, 2004,24(6):86-88.
- [9] 孙士东,夏仲诗. 排液封隔器失封原因及解决方法[J]. 油气井测试,2015,24(3):68-71.
SUN Shidong, XIA Zhongshi. Causes of packer loss and its solution [J]. Well Testing, 2015,24(3):68-71.
- [10] 朱庆,张俊杰,谢飞,等. 涡流排水采气技术在四川气田的应用[J]. 天然气技术与经济,2013,7(1):37-39.
ZHU Qing, ZHANG Junjie, XIE Fei, et al. Application of eddy current drainage gas recovery technology in Sichuan gas field [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2013,7(1):37-39.
- [11] 杨涛,余淑明,杨桦,等. 气井涡流排水采气新技术及其应用[J]. 天然气工业,2012,32(8):63-66.
YANG Tao, YU Shuming, YANG Hua, et al. A New technology of vortex dewatering gas recovery in gas wells and its application [J]. Natural Gas Industry, 2012,32(8):63-66.
- [12] 郭秀庭,强华,任永宏,等.大港油田压裂增产措施排液技术优化研究与应用[J]. 油气井测试,2016,25(2):41-44.
GUO Xiuting, QIANG Hua, REN Yonghong, et al. Optimization research and application of fracturing stimulation drainage technology in Dagang Oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(2):41-44.
- [13] 郝帆帆. 涡流排水采气工艺技术应用研究[J]. 石化技术,2016,23(2):51.
HAO Fanfan. Study on application of eddy current drainage gas recovery technology [J]. Petrochemical Industry Technology, 2016,23(2):51.
- [14] 王毅忠,刘庆文. 计算气井最小携液临界流量的新方法[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(6):82-84.
WANG Yizhong, LIU Qingwen. A new method to calculate the minimum critical liquids carrying flow rate for gas wells [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007,26(6):82-84.
- [15] 耿新中,赵先进,郭海霞,等. 积液停产气井泡沫排液诱喷复产工艺[J]. 钻采工艺,2004,27(1):58-59.
GENG Xinzong, ZHAO Xianjin, GUO Haixia, et al. The reproduction technology with foam displacement fluid in watered-out well [J]. Drilling & Production Technology, 2004,27(1):58-59.
- [16] 于鹏,魏国华. 涡流排水采气技术在城9井上的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2014(13):93.
YU Peng, WEI Guohua. Application of eddy current drainage gas recovery technology in Cheng 9 well [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014(13):93.
- [17] 郭秀庭,强华,秦晓东,等. 旋流排水采气技术研究[J]. 油气井测试,2015,24(3):68-71.
GUO Xiuting, QIANG Hua, QIN Xiaodong, et al. Study on swirling drainage gas recovery technology [J]. Well Testing, 2015,24(3):68-71.
- [18] 冯翠菊,王春生,张冀. 天然气井下涡流工具排液效果影响因素分析[J]. 石油机械,2013,41(1):78-81.
FENG Cuiju, WANG Chunsheng, ZHANG Hong. Influencing factor analysis of the liquid discharge effect of down-hole vortex tool in natural gas wells [J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(1):78-81.
- [19] 高辉. 螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的适应性分析[J]. 油气井测试,2018,27(3):22-27.
GAO Hui. Adaptability analysis of screw pump and hydraulic pump during the production of horizontal wells [J]. Well Testing, 2018,27(3):22-27.

编辑 刘振庆

第一作者简介:郭秀庭,男,高级工程师,大港油田公司试油高级专家,1991年毕业于中国石油大学(华东)采油工程专业,主要从事试油技术研究工作。电话:022-25928541,15122172989;Email:guoxingt@petrochina.com.cn。通信地址:天津市滨海新区中国石油大港油田公司石油工程研究院,邮政编码:300280。