

## 基于等级加权法的海上机械采油方式优选方法

杨 阳, 曹砚锋, 隋先富, 于继飞, 欧阳铁兵

(中海油研究总院, 北京 100028)

**摘 要:**目前海上油田总体开发方案中,机械采油方式优选方法单一,以定性指标为主,缺乏必要理论支撑与数据支持。为此,综合考虑技术指标、经济指标、工程指标的影响,以机械采油方式优选为目标,采用等级加权法对技术、经济和工程3个指标的影响因素进行赋值以及分配权重,建立了海上机械采油方式优选方法。利用该优选方法对海上X稠油油田的机械采油方式进行了优选,开发初期产液量为 $40\sim 108\text{ m}^3/\text{d}$ 时,推荐采用螺杆泵开采;开发后期产液量达到 $200\text{ m}^3/\text{d}$ 时,考虑X油田为稠油油田,应采取降黏措施,推荐采用电潜泵+掺稀/化学降黏方式开采。优选结果与该油田总体开发方案中的机械采油方式一致,且该油田机械采油方式与优选结果一致的井,都正常生产。这表明基于等级加权法的机械采油方式优选方法可以指导海上油田选用合理、经济、对海洋工程影响较小的机械采油方式,从而提高海上油田的开发效益。

**关键词:**海上油田;采油方式;机械采油;等级加权法;层次分析法

**中图分类号:**TE355 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2016)01-0073-06

## Optimal Method of Offshore Oil Artificial Lift Modes Based on Hierarchical Grade-Weighted Method

YANG Yang, CAO Yanfeng, SUI Xianfu, YU Jifei, OUYANG Tiebing  
(CNOOC Research Institute, Beijing, 100028, China)

**Abstract:** Currently, the method used for optimizing mechanical artificial lift methods in offshore oil fields is developed during the overall development plan. Generally speaking, there is insufficient theoretical support or data available in these processes. For that reason, it is important to develop a new analytical approach that incorporates all relevant technical, economic, and engineering factors. To improve the process, a hierarchical, grade-weighted method can be deployed to assign these three indicators for establishing a model of optimal offshore artificial lift. The newly developed method has been deployed for identification of optimal artificial lifts in X Oilfield for heavy oil development. The result shows that in the early stages of development, liquid production was  $40\sim 108\text{ m}^3/\text{d}$ , and accordingly, a screw pump was proposed for its development. In the late stages of development, with liquid production was above  $200\text{ m}^3/\text{d}$ , ESP and dilution or chemical viscosity-reducer should be deployed to reduce viscosity of heavy oil. Results obtained by using the proposed method coincided with those specified in an overall development plan. In addition, all optimal wells that adopt artificial lift techniques identical to selection results have normal production. It can be seen that the hierarchical grade-weighted method can be deployed to identify artificial lifts with outstanding economic performances that will enhance the recovery in offshore environments. Eventually, the development efficiency in offshore oil and gas fields can be dramatically enhanced.

**Key words:** offshore oilfield; oil production method; mechanical recovery; hierarchical grade-weighted method; analytic hierarchy process

我国大部分海上油田都采用机械采油方式,主要有电潜泵、射流泵、气举、螺杆泵等,另外,对水力潜油泵(HSP)等新型机械采油方式也进行了可行性研究<sup>[1]</sup>。在油田开发过程中,机械采油方式是否合理对于油井产能的充分释放、生产成本的降低以及采收率的提高有着非常重要的影响。目前,海上油田选择机械采油方式的方法较为简单,只是将几种

机械采油方式的优缺点进行对比,再结合油田的基

收稿日期:2015-07-17;改回日期:2015-12-24。

**作者简介:**杨阳(1989—),男,辽宁丹东人,2011年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,2014年获中国石油大学(华东)油气田开发工程专业硕士学位,工程师,主要从事采油工程技术研究工作。E-mail: yangyang42@cnooc.com.cn。

**基金项目:**国家科技重大专项“海上油田丛式井网整体加密及综合调整技术”(编号:2011ZX05024-002)部分研究内容。

本参数进行定性评价,缺乏理论支撑与数据支持,优选结果难以令人信服。

近年来,国内外学者对于机械采油方式的选择进行了深入研究<sup>[2-16]</sup>,但是针对的都是陆上油田,对海上油田机械采油方式优选研究甚少。考虑到海上油田采油的特殊性,选择机械采油方式时不仅要考虑技术上可行,还要有好的经济效益,同时要充分考虑采油方式对后续海洋工程方面的影响,例如占地面积、动力来源以及施工难度等,而国内外学者在以往的研究中没有考虑机械采油方式对海洋工程方面的影响。

等级加权法是简洁实用的决策方法,计算简单,所需定量数据较少,具有一票否决机制,但是也存在打分主观性较强的缺点。针对该问题,可以根据多名海上采油专家的意见进行综合打分,使打分系统更具针对性,更加适合海上机械采油方式的优选,变缺点为优点。因此,笔者引入等级加权法,考虑技术指标、经济指标和工程指标的各种影响因素,以机械采油方式为目标,建立了海上机械采油方式优选方法。

## 1 不同机械采油方式敏感因素及得分

根据等级法将不同机械采油方式的指标进行分类,并对各个指标及敏感因素进行分级。将各类因素分为最好、好、适合、不好、不可行5个等级,相应的等级数值分别为4,3,2,1,0。用等级法筛选比较简单,因为某一方法中只要有一个为零,则不能采用,也就是一票否决。

海上油田选择机械采油方式与陆上油田稍有不同,不仅要考虑技术和经济指标,还要考虑工程指标。技术指标的敏感因素包括产液量、举升高度、流体油藏特性及生产操作问题、井型、采油工艺及后期措施和复杂性参数。经济指标的敏感因素包括初期投资、操作成本、配套设施费用和维护费用。考虑到海上油田采油的特殊性,工程指标的敏感因素包括占地面积、动力来源、对平台要求和施工难度。

表1—表3是海上采油专家给出的不同机械采油方式技术、经济和工程指标的敏感因素得分。

表1 不同机械采油方式技术指标敏感因素得分

Table 1 Sensitivity of technical indicators for different artificial lift modes

| 敏感因素              |                                              | 技术指标敏感因素得分 |       |       |     |       |    |
|-------------------|----------------------------------------------|------------|-------|-------|-----|-------|----|
|                   |                                              | 电潜泵        | 水力潜油泵 | 液压抽油机 | 螺杆泵 | 水力射流泵 | 气举 |
| 产液量               | 高产液量( $\geq 200 \text{ m}^3/\text{d}$ )      | 4          | 4     | 2     | 0   | 3     | 4  |
|                   | 中产液量( $50 \sim 200 \text{ m}^3/\text{d}$ )   | 4          | 4     | 4     | 3   | 4     | 4  |
|                   | 低产液量( $< 50 \text{ m}^3/\text{d}$ )          | 2          | 2     | 4     | 4   | 4     | 2  |
| 举升高度              | 深( $\geq 3\ 000 \text{ m}$ )                 | 1          | 0     | 1     | 0   | 0     | 1  |
|                   | 中深( $2\ 000 \sim 3\ 000 \text{ m}$ )         | 2          | 0     | 2     | 0   | 1     | 3  |
|                   | 中( $1\ 000 \sim 2\ 000 \text{ m}$ )          | 3          | 2     | 3     | 2   | 2     | 4  |
|                   | 浅( $< 1\ 000 \text{ m}$ )                    | 4          | 4     | 4     | 4   | 4     | 4  |
| 流体油藏特性及<br>生产操作问题 | 高气油比( $\geq 100 \text{ m}^3/\text{m}^3$ )    | 2          | 3     | 2     | 4   | 2     | 4  |
|                   | 高黏度( $\geq 100 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ) | 2          | 2     | 2     | 4   | 3     | 2  |
|                   | 高含蜡( $> 10\%$ )                              | 3          | 2     | 2     | 4   | 3     | 1  |
|                   | 腐蚀                                           | 1          | 1     | 1     | 2   | 1     | 2  |
|                   | 井温 $\geq 100\text{ }^\circ\text{C}$          | 2          | 3     | 3     | 2   | 3     | 4  |
|                   | 井温 $< 100\text{ }^\circ\text{C}$             | 4          | 4     | 4     | 3   | 4     | 4  |
|                   | 含砂量 $\leq 1\%$                               | 3          | 3     | 2     | 4   | 2     | 4  |
|                   | 含砂量 $> 1\%$                                  | 0          | 0     | 0     | 4   | 0     | 2  |
| 井型                | 定向井适应性                                       | 2          | 2     | 2     | 2   | 3     | 2  |
|                   | 小井眼适应性                                       | 2          | 1     | 2     | 2   | 1     | 4  |
| 采油工艺及<br>后期措施     | 强化采液能力                                       | 4          | 2     | 3     | 2   | 2     | 2  |
|                   | 采油工艺完整性                                      | 4          | 1     | 2     | 2   | 2     | 3  |
|                   | 试井,取资料                                       | 3          | 3     | 3     | 2   | 2     | 4  |
|                   | 运转周期                                         | 3          | 3     | 2     | 1   | 2     | 3  |
| 复杂性参数             | 使用可靠性                                        | 3          | 1     | 2     | 2   | 2     | 3  |
|                   | 能量利用效率                                       | 2          | 2     | 2     | 3   | 2     | 1  |
|                   | 设备简便性                                        | 3          | 3     | 2     | 3   | 2     | 2  |

表 2 不同机械采油方式经济指标敏感因素得分

Table 2 Sensitivity of economic indicators for different artificial lift modes

| 敏感因素   | 经济指标敏感因素得分 |       |       |     |       |    |
|--------|------------|-------|-------|-----|-------|----|
|        | 电潜泵        | 水力潜油泵 | 液压抽油机 | 螺杆泵 | 水力射流泵 | 气举 |
| 初期投资   | 2          | 1     | 2     | 3   | 1     | 1  |
| 操作成本   | 2          | 2     | 2     | 2   | 2     | 3  |
| 配套设施费用 | 2          | 2     | 2     | 3   | 2     | 1  |
| 维护费用   | 2          | 3     | 2     | 2   | 3     | 3  |

表 3 不同机械采油方式工程指标敏感因素得分

Table 3 Sensitivity of engineering indicators for different artificial lift modes

| 敏感因素  | 工程指标敏感因素得分 |       |       |     |       |       |
|-------|------------|-------|-------|-----|-------|-------|
|       | 电潜泵        | 水力潜油泵 | 液压抽油机 | 螺杆泵 | 水力射流泵 | 气举    |
| 占地面积  | 2          | 2     | 1     | 3   | 2     | 1     |
| 动力来源  | 3          | 2     | 3     | 3   | 2     | 0 或 4 |
| 对平台要求 | 3          | 1     | 1     | 2   | 1     | 1     |
| 施工难度  | 3          | 2     | 2     | 3   | 2     | 2     |

## 2 不同指标和敏感因素权重的确定

### 2.1 确定不同指标敏感因素的权重

利用层次分析法<sup>[17]</sup>,根据不同机械采油方式技术适应性评价指标,运用 Saaty 提出的 1-9 比率标度法<sup>[18]</sup>,邀请若干海上采油专家和工程技术人员,对不同指标敏感因素的相对重要程度进行判断,并构造判断矩阵,利用 Matlab 编程进行计算。

#### 2.1.1 技术指标敏感因素的权重分配

技术指标敏感因素的权重分配需要考虑 2 种情形,一种是普通油藏,另一种是稠油油藏及出砂油藏。

普通油藏的判断矩阵  $P$  为:

$$P = \begin{bmatrix} P & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 & B_6 \\ B_1 & 1 & 2 & 3 & 5 & 3 & 9 \\ B_2 & 1/2 & 1 & 2 & 4 & 2 & 8 \\ B_3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 4 & 1 & 8 \\ B_4 & 1/5 & 1/4 & 1/4 & 1 & 1/2 & 5 \\ B_5 & 1/3 & 1/2 & 1 & 2 & 1 & 7 \\ B_6 & 1/9 & 1/8 & 1/8 & 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $P$  为技术指标; $B_1$  为产液量; $B_2$  为举升高度; $B_3$  为油藏流体特性及生产操作问题; $B_4$  为井型; $B_5$

为采油工艺及后期措施; $B_6$  为复杂性参数。

利用 Matlab 编程计算普通油藏判断矩阵的最大特征值及对应特征向量,并对特征向量进行归一化。普通油藏判断矩阵的最大特征值为 6.223 1,特征向量  $W = (0.748\ 8, 0.483\ 8, 0.327\ 9, 0.140\ 1, 0.275\ 2, 0.048\ 2)$ ,归一化特征向量  $W_1 = (0.370\ 0, 0.239\ 0, 0.162\ 0, 0.069\ 2, 0.136\ 0, 0.023\ 8)$ 。

普通油藏判断矩阵的一致性指标为 0.0446 2,平均随机一致性指标为 1.26,则普通油藏判断矩阵的随机一致性比率小于 0.1,因此,普通油藏判断矩阵具有满意的一致性。故普通油藏技术指标敏感因素中产液量的权重  $b_1 = 0.370\ 0$ ,举升高度的权重  $b_2 = 0.239\ 0$ ,油藏流体特性及生产操作问题的权重  $b_3 = 0.162\ 0$ ,井型的权重  $b_4 = 0.069\ 2$ ,采油工艺及后期措施的权重  $b_5 = 0.136\ 0$ ,复杂性参数的权重  $b_6 = 0.023\ 8$ 。

稠油油藏及出砂油藏的判断矩阵  $P'$  为:

$$P' = \begin{bmatrix} P & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 & B_5 & B_6 \\ B_1 & 1 & 2 & 1/2 & 5 & 3 & 9 \\ B_2 & 1/2 & 1 & 1/3 & 4 & 2 & 8 \\ B_3 & 2 & 3 & 1 & 6 & 4 & 9 \\ B_4 & 1/5 & 1/4 & 1/6 & 1 & 1/2 & 5 \\ B_5 & 1/3 & 1/2 & 1/4 & 2 & 1 & 7 \\ B_6 & 1/9 & 1/8 & 1/9 & 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

利用 Matlab 编程计算稠油油藏及出砂油藏判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量,并对特征向量进行归一化,检验判断矩阵的一致性。通过计算得到稠油油藏及出砂油藏技术指标敏感因素中产液量的权重  $b_1 = 0.258\ 0$ ,举升高度的权重  $b_2 = 0.169\ 9$ ,油藏流体特性及生产操作问题的权重  $b_3 = 0.383\ 4$ ,井型的权重  $b_4 = 0.061\ 6$ ,采油工艺及后期措施的权重  $b_5 = 0.104\ 4$ ,复杂性参数的权重  $b_6 = 0.022\ 8$ 。

#### 2.1.2 经济指标敏感因素的权重分配

经济指标敏感因素的判断矩阵  $P_1$  为:

$$P_1 = \begin{bmatrix} P_1 & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\ C_1 & 1 & 1/2 & 2 & 1/2 \\ C_2 & 2 & 1 & 3 & 1 \\ C_3 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/4 \\ C_4 & 2 & 1 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $P_1$  为经济指标; $C_1$  为初期投资; $C_2$  为操作成

本;  $C_3$  为配套设施费用;  $C_4$  为维护费用。

通过计算得到经济指标敏感因素中初期投资的权重  $c_1=0.185\ 0$ , 操作成本的权重  $c_2=0.3452$ , 配套设施费用的权重  $c_3=0.099\ 7$ , 维修费用的权重  $c_4=0.370\ 1$ 。

### 2.1.3 工程指标敏感因素的权重分配

工程指标敏感因素的判断矩阵  $P_2$  为:

$$P_2 = \begin{bmatrix} P_2 & D_1 & D_2 & D_3 & D_4 \\ D_1 & 1 & 2 & 4 & 6 \\ D_2 & 1/2 & 1 & 2 & 4 \\ D_3 & 1/4 & 1/2 & 1 & 3 \\ D_4 & 1/6 & 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $P_2$  为工程指标;  $D_1$  为占地面积;  $D_2$  为动力来源;  $D_3$  为对平台要求;  $D_4$  为施工难度。

通过计算得到工程指标敏感因素中占地面积的权重  $d_1=0.509\ 7$ , 动力来源的权重  $d_2=0.273\ 1$ , 对平台要求的权重  $d_3=0.152\ 2$ , 施工难度的权重  $d_4=0.066\ 8$ 。

## 2.2 确定不同指标的权重

不同指标判断矩阵  $P_3$  为:

$$P_3 = \begin{bmatrix} P_3 & E_1 & E_2 & E_3 \\ E_1 & 1 & 2 & 3 \\ E_2 & 1/2 & 1 & 3 \\ E_3 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中:  $P_3$  为机械采油方式;  $E_1$  为技术指标;  $E_2$  为经济指标;  $E_3$  为工程指标。

通过计算得技术指标的权重  $e_1=0.527\ 8$ , 经济指标的权重  $e_2=0.332\ 5$ ; 工程指标的权重  $e_3=0.139\ 6$ 。

## 3 计算不同机械采油方式的得分

利用加权法对机械采油方式的得分进行计算, 技术指标、经济指标和工程指标的得分为各敏感因素的得分与其权重相乘后相加, 最终机械采油方式的得分为 3 指标的得分与其权重相乘后相加, 计算公式为:

$$F_1 = b_1 f_1 + b_2 f_2 + b_3 f_3 + b_4 f_4 + b_5 f_5 + b_6 f_6 \quad (6)$$

$$F_2 = c_1 f_7 + c_2 f_8 + c_3 f_9 + c_4 f_{10} \quad (7)$$

$$F_3 = d_1 f_{11} + d_2 f_{12} + d_3 f_{13} + d_4 f_{14} \quad (8)$$

$$F = F_1 e_1 + F_2 e_2 + F_3 e_3 \quad (9)$$

式中:  $F_1$  为技术指标得分;  $f_1$  为产液量得分;  $f_2$  为举升高度得分;  $f_3$  为油藏流体特性及生产操作问题得分;  $f_4$  为井型得分;  $f_5$  为采油工艺及后期措施得分;  $f_6$  为复杂性参数得分;  $F_2$  为经济指标得分;  $f_7$  为初期投资得分;  $f_8$  为操作成本得分;  $f_9$  为配套设施费用得分;  $f_{10}$  为维护费用得分;  $F_3$  为工程指标得分;  $f_{11}$  为占地面积得分;  $f_{12}$  为动力来源得分;  $f_{13}$  为对平台要求得分;  $f_{14}$  为施工难度得分;  $F$  为机械采油方式得分。

## 4 实例计算

海上 X 油田的地面原油具有黏度高、密度大、含硫量低、凝固点低和含蜡量中等的特点, 属重质稠油。该油田南区油藏埋深 900~1 300 m, 配产 40~108 m<sup>3</sup>/d, 开发 6 年后单井的产液量达到 200 m<sup>3</sup>/d 以上, 最高可达 279 m<sup>3</sup>/d, 并且产出液含水率急剧增大, 举升深度 1 000 m 左右, 井温 52.1~56.1 °C, 气油比为 6 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, 地层原油黏度为 413~741 mPa·s, 地面脱气原油黏度为 1 789~3 635 mPa·s, 平均 2 343 mPa·s, 含蜡量 4%, 井型为定向井和水平井, 产出液无固相和腐蚀性流体, 无产出液气井可以当做动力来源。

X 油田为重质稠油油田, 开发初期产液量在低、中范围内, 开发后期在高产液量范围内, 故分开发初期和开发后期进行计算, 其他参数都在正常范围内。

### 4.1 开发初期机械采油方式优选

1) 低产液量(<50 m<sup>3</sup>/d)井机械采油方式优选。将油田配产、举升高度、井温、气油比等基本参数输入用 Matlab 编制好的计算程序中, 计算结果显示: 电潜泵得分为 2.316 7; 水力潜油泵得分为 2.122 8; 液压抽油机得分为 2.335 7; 螺杆泵得分为 2.818 3; 水力射流泵得分为 2.481 3; 气举得分为 0。由此可看出开发初期低产液量时, 螺杆泵的得分远大于其他机械采油方式, 故开发初期低产液量时推荐使用螺杆泵采油。

2) 中产液量(<200 m<sup>3</sup>/d)井机械采油方式优选。将配产改为 108 m<sup>3</sup>/d, 其他参数不变进行计算, 计算结果显示: 电潜泵得分为 2.589 0; 水力潜油泵得分为 2.395 2; 液压抽油机得分为 2.335 7; 螺杆泵得分为 2.682 1; 水力射流泵得分为 2.481 3; 气举得分为 0。开发初期中产液量时螺杆泵得分最高,



故开发初期中产液量时推荐使用螺杆泵采油。

## 4.2 开发后期机械采油方式优选

开发后期产液量增大,并且产出液含水急剧增加。计算结果显示:电潜泵得分为2.589 0;水力潜油泵得分为2.395 2;液压抽油机得分为2.063 4;螺杆泵得分为0;水力射流泵得分为2.345 2;气举得分为0。电潜泵得分远高于其他机械采油方式,考虑到产出液含水率升高,井筒流体黏度大幅度降低,十分适合电潜泵举升。由于该油田是稠油油田,最好同时采取掺稀或掺化学药剂降黏措施,故开发后期推荐选用电潜泵+掺稀/化学降黏的采油方式。

## 4.3 机械采油方式选择

计算结果表明:开发初期产液量不高,含水率也不高,采用螺杆泵采油;开发后期随着产液量增大,含水率也急剧增大,改用电潜泵+掺稀/化学降黏的方式开采。这与海上X油田总体开发方案设计中采油方式的选择相一致。

对X油田开采过程中的机械采油方式进行了统计,结果如下:

1) 前期使用螺杆泵采油,后期转电潜泵采油的井有7口,目前正常生产;

2) 前期使用电潜泵,投产很短时间便转螺杆泵采油的井有4口。这是由于这些井产液量较小( $10\text{ m}^3/\text{d}$ 左右),前期使用电潜泵采油,机械采油方式选择不当,应使用螺杆泵采油;

3) 开发过程中一直使用螺杆泵采油的井有4口,目前有3口井已经停产,停产前日产液 $50\text{ m}^3$ 左右,停产原因是抽油杆脱落,暂未修井;一直使用电潜泵采油的井有4口,目前2口井由于无产出液停产,停产前日产液量 $110\text{ m}^3$ 左右,其原因是泵轴断,暂未修井。

由此可以看出,开发前期使用电潜泵和整个开发过程一直使用电潜泵或者螺杆泵采油的井,都存在一定的问题,而前期使用螺杆泵,后期转电潜泵采油的井正常生产。这与由等级加权法推荐的前期使用螺杆泵后期转电潜泵的机械采油方式相一致,说明笔者建立的基于等级加权法的海上机械采油方式优选方法是可行的。

## 5 结论及建议

1) 基于等级法、层次分析法以及加权法建立了

海上机械采油方式优选方法,并利用Matlab软件编写了计算程序,弥补了海上油田总体开发方案中机械采油方式优选中存在的理论薄弱的缺点。

2) 计算实例表明,基于等级加权法的机械采油方式优选方法可以指导海上油田机械采油方式的优选。

3) 在应用基于等级加权法的机械采油方式优选方法优选机械采油方式时,应根据海上油田的具体情况,增加敏感因素,并对一些敏感因素进行细分,以进一步提高优选采油方式的准确性与适用性。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 李振宁,刘海静,曲雯颖,等. 新型水力潜油泵的研究与应用[J]. 石油机械,2011,39(9):84-86.  
LI Zhenning, LIU Haijing, QU Wenyong, et al. Research and application of new type hydraulic submersible pump[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(9): 84-86.
- [2] 王卫刚,赵亚杰,刘通,等. 延长油田机采方式优选及系统效率优化研究[J]. 钻采工艺,2014,37(5):84-86.  
WANG Weigang, ZHAO Yajie, LIU Tong, et al. Research on optimization of mechanical oil extraction methods and system efficiency in Yanchang Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2014, 37(5): 84-86.
- [3] 张琪,万仁溥. 采油工程方案设计[M]. 北京:石油工业出版社,2002:322-325.  
ZHANG Qi, WAN Renpu. Production engineering project design[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 322-325.
- [4] 谢宇新,周宇鹏,崔海清. 机械采油方式优选的模糊评价法[J]. 科学技术与工程,2010,10(34):8528-8532.  
XIE Yuxin, ZHOU Yupeng, CUI Haiqing. The fuzzy evaluation of the optimization of the patterns of artificial lift[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(34): 8528-8532.
- [5] 邵争艳. 机械采油方式优选综合评价研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2004:43-68.  
SHAO Zhengyan. Study of comprehensive appraisal for artificial lift method's option[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2004: 43-68.
- [6] 吴怀志,吴昊. 关于海上采油工艺发展的思考[J]. 中国海上油气,2012,24(1):79-81.  
WU Huaizhi, WU Hao. Thinking about development of offshore petroleum engineering[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(1): 79-81.
- [7] 刘超,李丙贤,曹亚鲁,等. 埕岛油田稠油区块采油工艺改进及其效果[J]. 中国海上油气,2010,22(3):190-192.  
LIU Chao, LI Bingxian, CAO Yalu, et al. Oil production technology improvement and application in viscous oil block of Chengdao Oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(3): 190-192.
- [8] 赵莹莹. 机械采油井技术经济分析与工况管理系统研究[D].

- 青岛:中国石油大学(华东),2009:20-29.
- ZHAO Yingying. Research on technical economic analysis and working condition management system of artificial lifted wells [D]. Qingdao: China University of Petroleum (Huadong), 2009:20-29.
- [9] 杨顺辉,郑晓志,刘文臣. 采油方式综合评价系统在塔北西达里亚油田的应用[J]. 石油钻探技术,2000,28(3):44-45.
- YANG Shunhui, ZHENG Xiaozhi, LIU Wenchen. Oil comprehensive evaluation system in Tabei Oilfield West Calabria[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2000, 28(3):44-45.
- [10] 李晓明,吴仕贵. 采油方式综合决策系统的研究与应用[J]. 油气采收率技术,2000,7(4):34-38.
- LI Xiaoming, WU Shigui. Study and application on integrated decision system of productionways[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2000, 7(4):34-38.
- [11] 吴晗,吴晓东,付豪,等. 海上气田气举诱喷排液一体化技术[J]. 中国海上油气,2011,23(4):263-266.
- WU Han, WU Xiaodong, FU Hao, et al. Gas lift induced flow and clean-up integrated technology for offshore gas field[J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(4):263-266.
- [12] 刘锦,李剑平,赵鹊桥. 垦东 12 块油藏采油方式优选及工艺研究[J]. 特种油气藏,2006,13(6):77-79,94.
- LIU Jin, LI Jianping, ZHAO Queqiao. Optimization of oil recovery method and process study in Kendong 12 Reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2006, 13(6):77-79, 94.
- [13] 周宇鹏. 抽油机、螺杆泵机采方式优选方法研究及应用[D]. 大庆:东北石油大学,2011:11-22.
- Zhou Yupeng. The research and application of the method of the optimization of artificial lift patterns of pumping jack and screw pump [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011:11-22.
- [14] 潘新莲. 机械采油方式的综合评价与决策模型研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2011:28-42.
- PAN Xinlian. Research on comprehensive evaluation and decision model of artificial lift methods[D]. Qingdao: China University of Petroleum (Huadong), 2011:28-42.
- [15] 尹志红,李大鹏,巩艳芬,等. 人工举升方式技术适应性综合评价[J]. 科学技术与工程,2011,11(8):1884-1887.
- YIN Zhihong, LI Dapeng, GONG Yanfen, et al. Combination evaluation on technology adaptation of artificial lift ways[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(8):1884-1887.
- [16] 梁丹,冯国智,曾祥林,等. 海上稠油两种热采方式开发效果评价[J]. 石油钻探技术,2014,42(1):95-99.
- LIANG Dan, FENG Guozhi, ZENG Xianglin, et al. Evaluation of two thermal methods in offshore heavy oilfields development[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1):95-99.
- [17] 肖昌,景艳波,姚棋文,等. 井壁稳定性预测方法研究与应用[J]. 断块油气田,2015,22(1):108-112.
- XIAO Chang, JING Yanbo, YAO Qiwen, et al. Research and application of prediction method of wellbore stability [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2015, 22(1):108-112.
- [18] 鹿强. 油田单井人工举升方式综合评价研究[D]. 大庆:东北石油大学,2010:23-25.
- LU Qiang. Research on comprehensive evaluation of single well artificial lift methods in oilfield [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2010:23-25.

[编辑 刘文臣]

## KUDU 公司推出无杆螺杆泵

KUDU 公司推出将螺杆泵和潜油电机完美结合在一起的无杆螺杆泵(Rodless PCP™)。无杆螺杆泵的潜油电机采用低速永磁电机,当螺杆泵转速在限定转速 50~500 r/min 范围内变化时,可以提供固定的扭矩。这样就可以根据油井的供液能力灵活调整螺杆泵的转速,不必更换泵。无杆螺杆泵采用井下遥测技术,防止泵抽空,监测井下设备性能,根据油井的供液能力优化螺杆泵的工作参数。无杆螺杆泵由于没有抽油杆,不但消除了潜在的杆管磨损,使整个系统的故障率降低了 30%~50%,而且在使用时可以不受井斜角的影响,可以安装在大斜度井段和水平井段。因此,它可以用在任何适用于螺杆泵的井,包括适合用螺杆泵的狗腿严重度大的井、对抽油杆或油管磨损有限制的井、出蜡严重的井以及海上稠油井。

[供稿 石 钻]