

# Method for Multi-Factor Evaluation Efficiency of Pumping Well System

Wei Xie<sup>1</sup>, Mengshi Yang<sup>1</sup>, Weiyi Xie<sup>1</sup>, Bofan You<sup>2</sup>, Huijuan Li<sup>1</sup>, Yun Li<sup>1</sup>, Xi Chen<sup>3</sup>, Haiyan Wei<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engineering Technology Research Institute of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei

<sup>2</sup>Harbin Engineering University, Harbin Heilongjiang

<sup>3</sup>Cooperative Development Project Department of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei

<sup>4</sup>The First Exploitation Factory of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei  
Email: [cyy\\_xiew@petrochina.com.cn](mailto:cyy_xiew@petrochina.com.cn)

Received: Jun. 18<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 15<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

For a long time, there is no unified method and standard for the analysis and evaluation of the system efficiency of pumping well. Therefore, this paper conducts research on the theoretical extreme value of the pumping well system efficiency. Based on the system efficiency evaluation method model, single factor analysis and comprehensive impact relationship analysis are carried out. Combined with examples for comprehensive evaluation, the efficiency evaluation method of the pumping unit well system provides a strong technical support for the relevant technical departments and different oil production units to formulate a reasonable measure plan.

## Keywords

Pumping Wells, System Efficiency, Extreme Value, Evaluation

---

# 一种多因素抽油机井系统效率评价方法

谢巍<sup>1</sup>, 杨梦石<sup>1</sup>, 谢唯一<sup>1</sup>, 游博凡<sup>2</sup>, 李慧娟<sup>1</sup>, 李云<sup>1</sup>, 陈曦<sup>3</sup>, 尉海燕<sup>4</sup>

<sup>1</sup>中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司工程技术研究院, 河北 任丘

<sup>2</sup>哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨

<sup>3</sup>中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司合作开发项目部, 河北 任丘

<sup>4</sup>中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司第一采油厂, 河北 任丘

Email: cyx\_xiew@petrochina.com.cn

收稿日期: 2020年6月18日; 录用日期: 2020年7月20日; 发布日期: 2020年9月15日

## 摘要

长期以来, 抽油机井系统效率分析和评价指标都没有统一的方法和标准, 因此, 本文针对目前抽油机井系统效率理论极值开展研究, 在系统效率评价方法模型的基础上进行单因素分析和综合影响关系分析, 应用实例进行综合评价, 摸索出了一套简洁而方便的抽油机井系统效率评价方法, 为相关技术部门和不同采油生产单位合理制定措施方案提供了强有力的技术支撑。

## 关键词

抽油机井, 系统效率, 极值, 评价

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 概述

有杆泵抽油是国内外石油工业传统的机械采油方式之一, 也是至今一直在机械采油方式中占绝对主导地位的人工举升方式。目前国外对抽油机井系统效率评价方法研究很少, 国内已经有了一些研究, 如文献[1]通过分析后, 直接提出抽油机系统效率极限值是 38.4%。也有文章认为, 抽油机系统效率的理论上限值为 49%, 理论下限值为 41% [2]。但实际测试表明[3] [4] [5] [6], 有大量抽油机系统效率已超过此值, 一些抽油机系统已达到 50%乃至 60%以上。传统的系统效率理论极限与现实情况相左, 因此, 需要找出一种能够反映多种因素对系统效率影响的评价方法。

抽油机系统效率的主要影响因素有包含油藏物性、设备性能、举升参数组合等[7] [8] [9], 现有的抽油机井系统动态仿真理论[10]存在以下几点不足: 其描述的仿真算法计算复杂, 需要大量的单井数据, 不能体现系各个因素对系统效率影响的大小, 不方便现场使用。我们在抽油机系统效率方面进行了多年的研究工作, 在抽油机井的举升设计、工况诊断、系统效率分析等方面积累了丰富的经验, 并形成了初步的有关设计、诊断测试、系统效率参数敏感性分析的方法。但由于每口井井况的不同, 如何运用一种简洁而方便的评价方法准确地反映抽油机井工况的好坏、系统效率的高低、提高潜力的多少, 是本文深入探讨的问题。

本方法主要为了深入研究提高抽油机井系统效率技术，并通过对系统效率潜力的分析，实现单井和区块抽油机井系统效率的科学评价，对现场实施提高抽油机井系统效率措施目标提供科学准确、符合现场实际和技术经济性良好的评价指标，从而指导现场的方案设计和措施实施，提高各级技术管理、操作部门对抽油机井系统效率现状及潜力的认识水平，最终实现全油田抽油机井采油技术高水平管理、应用的目的。

## 2. 系统效率评价方法模型

### 2.1. 模型适用范围

本模型假设：

- ① 均质油藏，含水饱和度恒定；
- ② 非超低渗油层，非超稠油；
- ③ 忽略岩石和水的压缩性；
- ④ 油气两相的压力相同；
- ⑤ 拟稳态流动；
- ⑥ 普通型游梁式抽油机；
- ⑦ 井下摩擦正常；
- ⑧ 泵工作正常；

本模型适应于直井、定向井，非稠油热采井(50℃脱气原油粘度 < 500 mPa·s)，日产液量 < 200 m<sup>3</sup>/d，生产气油比 < 640 m<sup>3</sup>/t 井。

### 2.2. 单因素分析结果

单因素分析得到的影响抽油机井系统效率的主要因素包括：冲程、冲次、井深、泵径、粘度、含水、气油比、产量、有效举升高度。为细化分类，将影响因素分为三类：一是油井自然因素，包括井深、粘度、含水、气油比、井身结构；二是人为可调因素，包括冲程、冲次、泵径、泵深、杆柱组合、电动机功率；三是与油井自然因素和人为可调因素都有关系的，包括产量、有效举升高度。

单因素分析显示：抽油机井的系统效率与原油粘度、含水、生产气油比为单变关系，即随粘度、生产气油比的增大而降低，随含水的增大而升高。因此可以对此三因素进行综合分析，确定具体影响。

人为可调因素(冲程、冲次、泵径、泵深、杆柱组合、电动机功率)为求取效率极值的必要条件，将考虑进对油井自然因素(粘度、含水、气油比、井身结构)分类的过程内。

### 2.3. 系统效率与影响因素的综合关系

根据单因素分析，进行系统效率与影响因素的综合关系分析。

① 计算  $Q=10t/d$ ， $f_w=0$  时的效率与粘度、气油比之间的对应关系，构建无因次新物理量 - 油气综合量  $Zru$  (1)，利用图形归一化，构建新的无因次物理量油气综合量，利用最小二乘原理进行回归，构建系统效率与油气综合量的关系(2)，最终得到效率与粘度、生产气油比关系(3) (4) (5)。

$$Zru = \frac{R}{R_{\max}} \quad (1)$$

$$\eta = 0.384e^{-1.2987Zru} \quad (2)$$

$$Zru = \frac{R}{R_{\max}} \quad (3)$$

$$R_{\max} = -1 \times 10^{-5} u_0^2 - 0.0219 u_0 + 364.4 \quad (4)$$

式中:

- $Q$ ——产液量, t/d;
- $fw$ ——含水率;
- $R$ ——生产气油比,  $m^3/m^3$ ;
- $R_{\max}$ ——最大生产气油比,  $m^3/m^3$ ;
- $\eta$ ——系统效率;
- $Zru$ ——油气综合量;
- $u_0$ ——粘度, mPa·s。

② 当  $Q=10t/d$  时, 将  $fw=20\%$ ,  $fw=40\%$ ,  $fw=60\%$ ,  $fw=80\%$  的油气综合量  $Zru$  与系统效率关系在同一坐标内对比, 得到不同含水时油气综合量  $Zru$  与系统效率的关系如图 1。

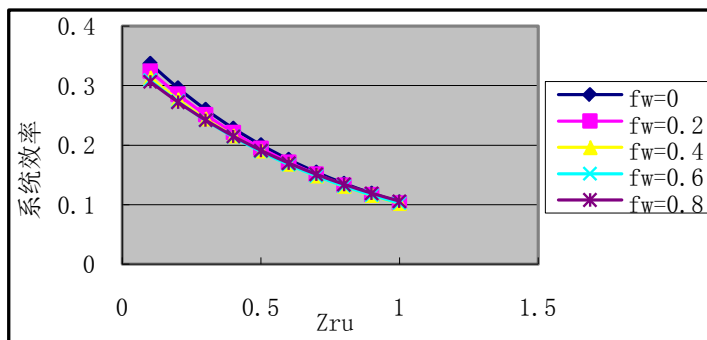


Figure 1. The relationship between comprehensive oil and gas volume and system efficiency under different water cuts

图 1. 不同含水时, 油气综合量  $Zru$  与系统效率的关系

③ 利用归一化和最小二乘原理, 得到系统效率与油气水综合量  $Zruf$  的关系曲线如图 2 所示。

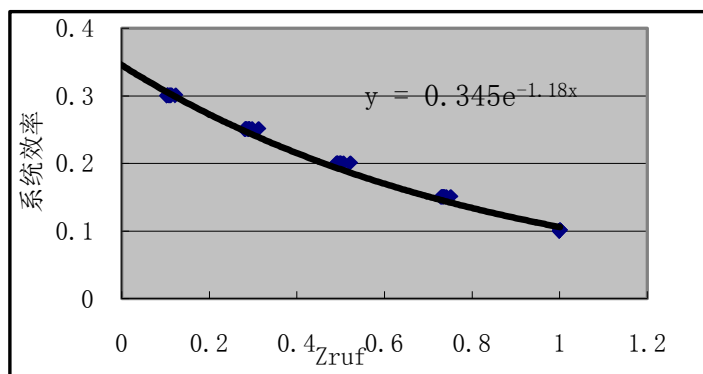


Figure 2. Relationship between system efficiency and comprehensive quantity of oil, gas and water

图 2. 系统效率与油气水综合量  $Zruf$  的关系

对应关系式为:

$$\eta = 0.36e^{-1.2783Zruf} \quad (5)$$

式中： $Z_{ruf}$ ——油气水综合量。

油气水综合量  $Z_{ruf}$  为：

$$Z_{ruf} = Z_{ru} / Z_{rmax} \quad (6)$$

式中： $Z_{rmax}$ ——最大油气综合量。

最大油气综合量  $Z_{rmax}$  与含水的对应关系式为：

$$Z_{rmax} = 0.1301fw^2 - 0.0942fw + 1.0342 \quad (7)$$

油气综合量  $Z_{ru}$  为：

$$Z_{ru} = \frac{R}{R_{max}} \quad (8)$$

对应不同的含水， $R_{max}$  公式不同：

$$fw = 0, R_{max} = -1 \times 10^{-5}u_0^2 - 0.0219u_0 + 364.4 \quad (9)$$

$$fw = 0.2, R_{max} = -2 \times 10^{-5}u_0^2 + 0.0148u_0 + 446.67 \quad (10)$$

$$fw = 0.4, R_{max} = -1 \times 10^{-4}u_0^2 + 0.1228u_0 + 576.53 \quad (11)$$

$$fw = 0.6, R_{max} = -1 \times 10^{-3}u_0^2 + 0.1793u_0 + 762.01 \quad (12)$$

$$fw = 0.8, R_{max} = -4 \times 10^{-3}u_0^2 + 0.5591u_0 + 1160.6 \quad (13)$$

④ 产量不同情况下，改变产量，得到不同产量下的效率  $\eta$  与油气水综合量  $Z_{ruf}$  的对应关系如图 3 所示。

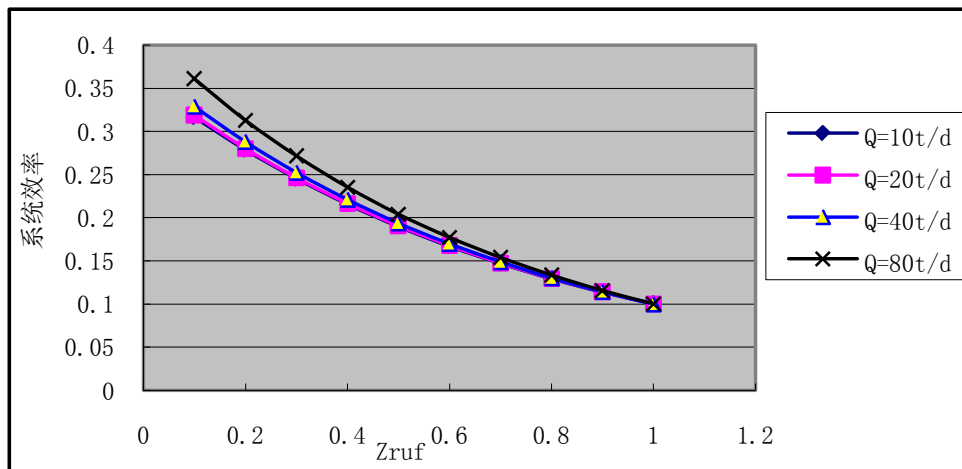


Figure 3. The Relationship between system efficiency and comprehensive quantity of oil, gas and water under different production

图 3. 不同产量下，系统效率与油气水综合量的关系

### 3. 系统效率综合评价应用实例

应用本模型，对华北油田某区块进行了油井系统效率控制图绘制和单井系统效率评价，计算步骤和应用情况如下：

某区块基础数据和生产数据见表 1。

**Table 1.** Data of example oil wells**表 1.** 示例油井基础数据和生产数据表

序号	井号	日产液量 (m <sup>3</sup> /d)	气油 比	含水 (%)	油压 (MPa)	套压 (MPa)	动液面 (m)	泵径 (mm)	冲程 (m)	冲次 (min <sup>-1</sup> )
1	C102-10	8	1	3	0.5	0	1400	38	4	4
2	C102-18	18	1	0.8	0.5	0	1721	38	4	4.8
3	C102-19	18	1	0.12	0.5	0	1505	38	4	4.8
4	C102-22	17	1	0.1	0.5	0	1913	38	4	4.8
5	C102-23	14	1	9.4	0.5	0	1995	38	4	4.8
6	C102-25	4	1	0.4	0.5	0	1837	38	4	4.8

计算步骤:

1) 对每口井的单项数据与系统效率关系进行分析,从而可以找出系统效率影响曲线;

2) 综合考虑各因素,通过计算  $Q = 10t/d$ ,  $f_w = 0$  时的效率与粘度、气油比之间的对应关系,建立综合影响因素量  $Z_{ruf}$ ,找出最大生产气油比与粘度的对应关系,利用最小二乘法,得到  $Z_{ru}$  与系统效率的关系曲线。同理改变  $Q$  的值,可得到不同产量下的效率与油气水综合量的关系。

3) 利用上述步骤得到单井系统效率理论上限、当前系统效率,并与现场提供系统效率对比如表 2,从而得到各井的效率潜力值和效率实现率如表 3。基于系统效率实现率的分析基础上,可以对各单井或不同生产区块进行系统效率的综合评价,采取相应措施提高抽油机井系统效率及系统效率实现率。

**Table 2.** Comparison of theoretical upper limit of system efficiency and current system efficiency and on-site system efficiency**表 2.** 单井效率理论上限、当前效率、现场提供效率对比表

序号	井号	系统效率理论上限	当前系统效率	现场提供系统效率
1	C102-10	35.41	14.84	13.79
2	C102-18	34.03	27.77	26.91
3	C102-19	29.82	26.89	27.92
4	C102-22	31.1	21.51	20.78
5	C102-23	36.37	35.8	35.14
6	C102-25	36.31	14.35	14.49

**Table 3.** System efficiency potential and realization rate**表 3.** 单井效率潜力、效率实现率

序号	井号	效率潜力	效率实现率(%)
1	C102-10	21.62	38.94
2	C102-18	7.12	79.08
3	C102-19	1.9	93.63
4	C102-22	10.32	66.82
5	C102-23	1.23	96.62
6	C102-25	21.82	39.91

#### 4. 结论

本模型提出了无因次物理量  $Z_{ru}$  的概念,通过单因素和综合影响分析,得出抽油机井单井系统效率

理论上限值, 根据实测系统效率计算最高系统效率实现率, 并由系统效率实现率的高低进行抽油机井潜力的评价分析, 实现了单井和区块抽油机井系统效率的科学评价, 对现场实施提高抽油机井系统效率措施提供科学准确的理论依据。该方法的评价实施应用, 可以更好地对抽油井挖潜增效, 有效降低油田企业的生产成本, 实现当前低油价国际环境下的油田可持续发展, 对油田的提质降耗、原油增产具有十分重要的意义。

## 参考文献

- [1] 窦宏恩. 提高有杆抽油系统效率的新理论与新技术[J]. 石油机械, 2001, 29(5): 25-26.
- [2] 张志远, 古小红, 王丽丽. 提高抽油机井系统效率的方法[J]. 断块油气田, 2000(4): 59-61.
- [3] 冯虎, 吴晓东, 张建军, 等. 有杆抽油系统井下能耗研究[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(6): 63-65.
- [4] 刘三威, 王海, 张连明, 等. 文留油田抽油机井系统效率影响因素研究[J]. 断块油气田, 2002, 9(4): 66-68.
- [5] Gauh, R.H. (1987) Designing a Sucker-Rod Pumping System for Maximum Efficiency. *SPE Production Engineering*, 2, 284-290. <https://doi.org/10.2118/14685-PA>
- [6] 崔振华, 余国安, 安锦高, 等. 有杆抽油系统[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [7] 李福军, 蒋汉青, 齐振林. 抽油机井系统效率计算方法的改进 [J]. 石油钻采工艺, 1989, 10(6): 75-78+90.
- [8] 冯耀忠. 提高有杆泵井系统效率的途径[J]. 石油矿场机械, 1993, 22(1): 26-28.
- [9] 程文军, 梁政, 周代余, 等. 提高机械采油系统效率研究[J]. 西南石油学院学报, 1999, 21(4): 67-69.
- [10] 董世民, 李海琴, 闫新民, 等. 抽油机井系统效率极限值的仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(13): 3533-3537.