

文章编号:1006-396X(2014)03-0067-04

有杆抽油系统能耗评价专家系统研究

麻 涛¹, 杨肖曦², 李松岩³, 龙凤乐⁴, 王观军⁴,
张 强⁴, 杜红勇⁴, 秦国顺²

(1.中国石油天然气管道局,河北廊坊 065000; 2.中国石油大学储运与建筑工程学院,山东青岛 266580;
3.中国石油大学石油工程学院,山东青岛 266580; 4.胜利石油管理局技术检测中心,山东东营 257000)

摘 要: 根据有杆抽油系统结构,结合专家建议,建立以系统效率、电机功率利用率等为主体的有杆抽油系统能耗评价技术指标,综合考虑能耗经济及社会指标,确立完整的有杆抽油系统能耗评价指标体系,参考国家行业标准,应用专家系统研究方法,构建评语体系与规则体系,建立有杆抽油系统能耗评价专家系统。对胜利油田某系统进行实例分析,认为电机不匹配、日常管理水平差是该系统存在的主要问题,并提出相关建议,结果符合实际,可为有杆抽油系统节能提供技术支持。

关键词: 能耗评价; 评价体系; 专家系统; 知识库

中图分类号: TE08

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1006-396X.2014.03.015

Research of Rod Pumping System Energy Consumption Evaluation Expert-System

Ma Tao¹, Yang Xiaoxi², Li Songyan³, Long Fengle⁴, Wang Guanjun⁴,
Zhang Qiang⁴, Du Hongyong⁴, Qin Guoshun²

(1.China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang Hebei 065000, China;

2.College of Architecture & Storage Engineering, China University of Petroleum, Qingdao Shandong 266580, China;

3.College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Qingdao Shandong 266580, China;

4.Technical Test Center of Sinopec Shengli Oilfield, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: According to the structure of rod pumping system, combined with expert advice, establish the rod pumping system energy consumption evaluation technology index which was conclude system efficiency motor power utilization and so on, Synthesizes the energy consumption economic and social index, established a complete rod pumping system energy consumption evaluation index system, refer to the national industry standard, applied expert system method, construct the comments system and rule system, the rod pumping system energy consumption evaluation expert system was established. Analyzed a system in shengli oilfield, think the motor matching and management is main problem in this system, at same time, put forward related suggestions, the result conform the actual, it can provide the rod pumping system energy saving.

Keywords: Energy evaluation; Evaluation system; Expert-system; Knowledge base

有杆抽油方式占全国油井抽油总数的 70% 以上,是目前最主要的采油工艺,同时其能耗在原油生产过程中所占的比例也是最大的^[1-2],因此对杆抽油系统能耗总体及各设备运行状况情况进行准确的评价对降低有杆抽油系统能耗,提高系统经济性有重要作用^[3]。而目前针对有杆抽油系统能耗的评价过多的依赖现场维护人员的经验,不能全面考虑。

本文以专家系统理论为基础,结合专家经验及相关标准组建有杆抽油系统能耗评价知识库,构建有杆抽油系统能耗评价专家系统,对系统及设备进行全面的评价,为现场节能降耗提供准确的技术支持。

1 知识库表示

专家系统中,知识库表示的恰当与否直接影响

收稿日期:2013-09-10 修回日期:2014-05-11

作者简介:麻涛(1987-),男,硕士,助理工程师,从事油田热能工程理论及应用领域的研究;E-mail:767810616@qq.com。

着系统的知识获取能力和知识运用效率,因此,知识库表示是建造专家系统中最基本的问题。有杆抽油系统能耗评价领域知识比较丰富,主要由评价指标体系、评价规则体系和评语体系组成。

1.1 评价指标体系

查阅大量文献资料,参考多位专家意见,并结合评价指标建立原则得出有杆抽油系统能耗评价指标体系由技术指标、经济指标和社会指标 3 部分构成^[4]。

1.1.1 技术指标 有杆抽油系统有效能量与输入能量之比为系统效率 η ,是有杆抽油系统的主要技术指标,也是系统能耗评价的重点。计算公式如式(1)所示:

$$\eta = P_{\text{有}} / P_{\text{入}} \times 100\% \quad (1)$$

其中: $P_{\text{有}}$ 为有杆抽油系统有效功率,kW; $P_{\text{入}}$ 为有杆抽油系统输入功率,kW。

同时根据有杆抽油系统能耗分布及系统结构,评价技术指标还应包括地面因素、井下因素和管理等方面因素。

地面因素指以抽油机光杆悬绳器为界,电机、皮带、减速箱及四连杆等设备对系统能耗的影响,但现场对于一些设备参数采集较为困难,地面因素评价指标简化为电机功率因数 $\cos\varphi$ 及电机功率利用率 β 两部分。计算公式如式(2)、(3)所示:

$$\cos\varphi = P_{\text{入}} / S \quad (2)$$

$$\beta = P_1 / P_N \times 100\% \quad (3)$$

其中: S 为视在功率,VA; $S = \sqrt{P_{\text{入}}^2 + W^2}$; W 为无功功率,Var; P_1 为电机输出功率,kW; P_N 为电机额定功率,kW。

井下因素指抽油机光杆悬绳器以下的设备(盘根盒、抽油杆、抽油泵等)对系统能耗的影响,同样简化抽油泵排量系数 $\alpha_{\text{排}}$ 作为井下因素主要评价指标。计算公式如式(4)所示:

$$\alpha_{\text{排}} = Q_{\text{实}} / Q_{\text{理}} \quad (4)$$

其中: $Q_{\text{实}}$ 为抽油泵的实际排量, m^3/d ; $Q_{\text{理}}$ 为抽油泵的理论排量, m^3/d 。

管理因素指日常生产管理对系统能耗的影响,主要包括平衡度和抽汲参数匹配数两部分。计算公式如式(5)、(6)所示:

$$L = I_{\text{下}} / I_{\text{上}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\gamma = SH_{\text{d}} / n \quad (6)$$

其中: $I_{\text{下}}$ 为下行最大电流,A; $I_{\text{上}}$ 为上行最大电流,A; S 为冲程,m; n 为冲次, min^{-1} ; H_{d} 为有效扬程,m。

另外,原油的物理参数及地质因素,如渗透率、油气比、黏度等对有杆抽油系统能耗也存在较大影

响,需要对不同油藏及地质参数分层考虑进行评价。

1.1.2 经济指标 百米吨液耗电是指抽油系统将井下一吨液体提升 100 m 所消耗的电能,单位是 $\text{kW} \cdot \text{h}/(100 \text{ m} \cdot \text{t})$,是有杆抽油系统重要的经济指标。计算公式如式(7)所示:

$$X = 2400 \times P_{\text{入}} / (H_{\text{d}} \cdot Q_{\text{T}}) \quad (7)$$

其中: Q_{T} 为产液量,t/d。

1.1.3 社会指标 由于社会对原油需求日益增长,因此产液量 Q_{T} 也必须作为评价有杆抽油系统的一项指标。

1.2 评价规则体系

规则体系存放专家设立判断各个指标优劣的阈值或范围区间,是联系指标体系和评价体系的纽带,也是系统评价准确与否的关键所在。本系统采用分类统计法对多名专家提出的有杆抽油系统能耗评价指标规则及国标规定值进行处理,得到相对准确的评判规则。

不同油藏条件下有杆抽油系统效率的限定值及节能值如表 1、2、3 所示。

表 1 系统效率节能监测指标

Table 1 Monitoring index system efficiency and energy saving

监测项目	限定值	节能值
系统效率(稀油)	$\geq 18/(K_1 \cdot K_2)$	$\geq 29/(K_1 \cdot K_2)$
系统效率(稠油)	≥ 15	≥ 20

注: K_1 为油田渗透率对系统效率影响; K_2 为泵挂深度对系统效率影响。

表 2 地层渗透率对系统效率的影响系数

Table 2 The influence coefficient of oilfield permeability on system efficiency

油田类型	特低渗透油田	低渗透油田	中高渗透油田
K_1	1.6	1.4	1.0

表 3 泵挂深度对系统效率的影响系数

Table 3 The influence coefficient of pump setting depth on system efficiency

泵挂深度	<1500	$1500 \sim 2500$	>2500
K_2	1.00	1.05	1.10

国家行业标准规定有杆抽油系统电动机功率因数限定值为 0.4,功率因数低于标准,则表示电动机无功损失太大,造成了大量的能量消耗,应及时检修;电机功率利用率大于 35% 为节能,大于 20% 即为合格,同时,功率利用率大于 50% 时出现过载现象^[5];稀油井抽油泵排量系数达到 0.45 为合格,稠油井到达 0.4 为合格,过低的抽油泵排量系数会造

成泵效降低,能量损失增大;国标规定抽油机的平衡度在85%~115%为合格,但由于平衡块的惯性作用,考虑到实际生产情况,把平衡度定为70%~110%^[6];规定有杆抽油系统普通稠油百米吨液耗电小于1.55 kW·h/(100 m·t)为合格,特稠油百米吨液耗电小于9.75 kW·h/(100 m·t)为合格,超稠油百米吨液耗电小于23.25 kW·h/(100 m·t)为合格。

产液量及抽汲参数匹配数为越大越优,但在有杆抽油机井抽汲参数及产液量设计时不应该总是考虑以其极大值为最佳,因为若过分追求某一最大可能会导致其他参数值的降低,最终不利于整体能耗的控制。

1.3 评语体系

有杆抽油系统评语体系由整合多位专家针对整体能耗状况或单个设备运行状况的多条评价语句构成,总体归为3类: Y_1 —运行参数偏小; Y_2 —运行参数正常; Y_3 —运行参数偏大,结合相应的评价指标及专家处理意见,得到相应的评语,如“系统整体状况较好,请继续保持”,“电机选型过大,存在大马拉小车现象,请调整电机接线方式”等。当用户输入的指标条件与其特定规则匹配时就会调用对应的评语,向用户做出正确的评价及建议。

2 有杆抽油系统能耗评价专家系统

专家系统(ES, Expert System)是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统,是人工智能中发展和应用最成熟的一个方向^[7-9]。有杆抽油系统能耗评价专家系统是模拟采油技术、能量评价领域专家考虑问题、解决问题的方法,对选定系统进行科学的诊断、评价的人工智能系统^[10]。

有杆抽油系统能耗评价专家系统主要包括人机对话模块、黑板模块、知识库模块和推理机。人机对话模块用于接受信息、显示结果及获取知识更新;黑板模块用于暂时存放中间数据,可随时擦除、替换,是内部数据的中转站;知识库包含指标库、规则库、评语库,是专家系统准确与否的关键;推理机用于数据的计算、比较、判断等。

系统通过人机对话模块接收用户输入的基础参数,在系统指标库的主导下,启动推理机的推理计算子模块,得到相关的评价指标值存入“黑板”,然后调用规则库,搜索各指标的评判规则,并查询“黑板”匹配规则条件,匹配成功则把相应的评语保存至黑板;如不成功,则继续匹配。能耗评价专家系统流程如

图1所示。

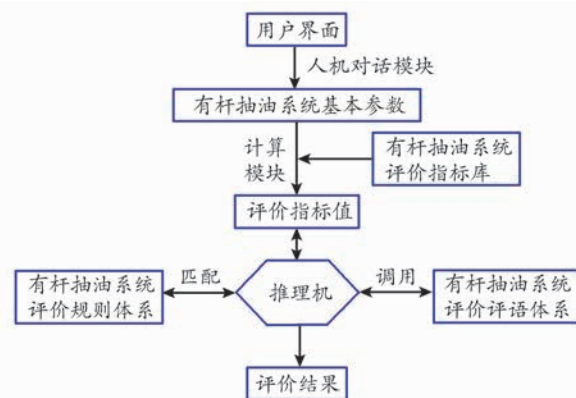


图1 有杆抽油系统能耗评价专家系统流程图

Fig.1 The process diagram of rod pumping system energy consumption evaluation expert-system

3 应用实例

以胜利油田临盘采油厂一矿 L14-X30 井 2011 年 2 月测试数据为例,应用专家系统进行能耗评价。首先由人机接口模块收集基础参数(如图2所示),推理机对系统各项评价指标值进行计算,中间参数存入“黑板”,调用知识库中的规则体系对计算得到的指标依次判断,寻找匹配的评价语句输出用户界面(如图3所示),同时应用系统辅助模块对数据进行统计、存档等。

图2 参数输入界面

Fig.2 Data collection

图3 评价及建议界面

Fig.3 Evaluation and suggestions

系统分析认为电机不匹配、平衡度差、抽汲参数不合理是该系统目前存在的主要问题,应该更换小功率电机或节能电机,及时调整平衡度及抽汲参数,加强日常管理。对该井现场调研表明本系统提出的评价建议准确、实用,可对现场管理人员提供一定程度的技术支持。

4 结论

1) 建立了以系统效率、电机负载率等为主体,能反映有杆抽油系统技术、经济、社会层面的能耗评价指标体系,同时确立了其评价规则及评价语句,构成了有杆抽油系统能耗评价知识库。

2) 构建了有杆抽油系统能耗评价专家系统,对胜利油田临盘采油厂一矿 L14-X30 井进行评价,认为电机不匹配、日常管理水平差是该系统存在的主要问题,并提出相关建议,评价结果准确。

参 考 文 献

- [1] 范凤英.提高抽油井系统效率技术[M].东营:石油大学出版社,2002.
- [2] 刘合,王广钧.当代有杆泵抽油系统[M].北京:石油工业出版社,2000:224-226.
- [3] 金戈.石油和化工行业节能降耗的潜力与途径[J].中国石油和化工经济分析,2007,21(7):56-58.
Jin Ge. The way and energy saving potential of the petroleum and chemical industry [J]. China Petroleum and Chemical Industry of Economic Analysis, 2007,21(7):56-58.
- [4] 郭小哲,刘跃忠.抽油机井系统效率方案优化及因素分析[J].钻探工艺,2008,31(3):92-96.
Guo Xiaozhe, Liu Yuezhong. Pumping unit well system efficiency optimization and factor analysis [J]. Drilling & Production Technology, 2008,31(3):92-96.
- [5] 宋扬,姜雪,张实德,等.抽油机电机合理负载率的研究[J].石油化工高等学校学报,2012,25(2):66-69.
Song Yang, Jiang Xue, Zhang Shide, et al. Reasonable range of electrical motor power utilization ratio of pumping units [J]. Journal of Petrochemical Universities, 2012,25(2):66-69.
- [6] 吕鹏,修晓伟.基于J油田生产数据的抽油机井平衡度研究[J].石油化工高等学校学报,2014,27(1):60-65.
Lyu Peng, Xiu Xiaowei. Balance of oil pumping unit based on the field data of j oilfield [J]. Journal of Petrochemical Universities, 2014,27(1):60-65.
- [7] 武波,马玉祥.专家系统[M].北京:北京理工大学出版社,2003.
- [8] 施鸿宝,王秋荷.专家系统[M].西安:西安交通大学出版社,2008.
- [9] 张嗣伟.有杆泵抽油诊断的专家系统[J].石油机械,1991,19(11):33-40.
Zhang Siwei. Expert system of rod pumping system evaluation [J]. China Petroleum machinery, 1991,19(11):33-40.
- [10] 高胜,常玉莲.专家系统在油田注水管网系统布局改造设计中的应用[J].钻采工艺,2002,25(2):31-34.
Gao Sheng, Chang Yulian. An application of expert system in the layout design of oilfield flooding pipeline network modification [J]. Drilling & Production Technology, 2002,25(2):31-34.

(编辑 王亚新)

作者: [麻涛](#), [杨肖曦](#), [李松岩](#), [龙凤乐](#), [王观军](#), [张强](#), [杜红勇](#), [秦国顺](#), [Ma Tao](#), [Yang Xiaoxi](#), [Li Songyan](#), [Long Fengle](#), [Wang Guanjun](#), [Zhang Qiang](#), [Du Hongyong](#), [Qin Guoshun](#)

作者单位: [麻涛, Ma Tao\(中国石油天然气管道局, 河北廊坊, 065000\)](#), [杨肖曦, 秦国顺, Yang Xiaoxi, Qin Guoshun\(中国石油大学储运与建筑工程学院, 山东青岛, 266580\)](#), [李松岩, Li Songyan\(中国石油大学石油工程学院, 山东青岛, 266580\)](#), [龙凤乐, 王观军, 张强, 杜红勇, Long Fengle, Wang Guanjun, Zhang Qiang, Du Hongyong\(胜利石油管理局技术检测中心, 山东东营, 257000\)](#)

刊名: [石油化工高等学校学报](#) 

英文刊名: [Journal of Petrochemical Universities](#)

年, 卷(期): 2014(3)

参考文献(10条)

1. [范凤英](#) [提高抽油井系统效率技术](#) 2002
2. [刘合;王广钧](#) [当代有杆泵抽油系统](#) 2000
3. [金戈](#) [石油和化工行业节能降耗的潜力与途径](#) 2007(07)
4. [郭小哲;刘跃忠](#) [抽油机井系统效率方案优化及因素分析](#) 2008(03)
5. [宋扬;姜雪;张实德](#) [抽油机电动机合理负载率的研究](#) 2012(02)
6. [吕鹏;修晓伟](#) [基于J 油田生产数据的抽油机井平衡度研究](#) 2014(01)
7. [武波;马玉祥](#) [专家系统](#) 2003
8. [施鸿宝;王秋荷](#) [专家系统](#) 2008
9. [张嗣伟](#) [有杆泵抽油诊断的专家系统](#) 1991(11)
10. [高胜;常玉莲](#) [专家系统在油田注水管网系统布局改造设计中的应用](#) 2002(02)

引用本文格式: [麻涛](#). [杨肖曦](#). [李松岩](#). [龙凤乐](#). [王观军](#). [张强](#). [杜红勇](#). [秦国顺](#). [Ma Tao](#). [Yang Xiaoxi](#). [Li Songyan](#). [Long Fengle](#). [Wang Guanjun](#). [Zhang Qiang](#). [Du Hongyong](#). [Qin Guoshun](#) [有杆抽油系统能耗评价专家系统研究](#)[期刊论文]-[石油化工高等学校学报](#) 2014(3)