

文章编号:0253-2697(2010)01-0144-04

滤波技术在有杆泵抽油系统诊断中的应用

李敬元¹ 陈国春¹ 李子丰¹ 李慧云²

(1. 燕山大学石油工程研究所 河北秦皇岛 066004; 2. 北京金祥天科技有限公司 北京 100085)

摘要:已被广泛采用的有杆泵抽油系统井下工况诊断技术依据光杆位移随时间的变化和光杆负荷随时间的变化规律,通过力学分析,从而了解整个抽油系统的运行状况。但是在测量光杆位移时,测量仪器的转速异常会使光杆位移的测量值与实际值有较大的偏差,光杆示功图出现一定程度的失真,且导致计算出的抽油泵示功图严重变形,无法得到准确诊断结果。为此提出了一种对测量的光杆位移函数先进行滤波处理的有杆泵抽油系统诊断技术。该诊断技术可以对光杆位移数据进行滤波,优化光杆示功图,减少误差,计算出较准确的抽油泵示功图。在某油田多口抽油井上的应用证明了该技术具有可靠性和实用性。

关键词:抽油泵;示功图;诊断技术;滤波技术;光杆位移

中图分类号: TE833 **文献标识码:** A

Application of filter technique to diagnosis of sucker-rod pumping system

LI Jingyuan¹ CHEN Guochun¹ LI Zifeng¹ LI Huiyun²

(1. Institute of Petroleum Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2. Jinxiangtian Science & Technology Limited Company, Beijing 100085, China)

Abstract: The down hole sucker-rod pumping system diagnosis technology widely used in oil fields is based on the relationship of polished rod displacement with time and the relationship of polished rod load with time to determine the running conditions of the whole system. In the survey of rod displacement, the abnormality rotation of dynamometer will cause some errors between the measured value and the true value of the polished rod, which further result in some deformation of polished rod dynamometer diagram and serve deformation of computed pump dynamometer diagram. A new sucker-rod pumping diagnosis technology was proposed on the basis of filtering treatment of measured displacement of polished rod. This diagnosis technology can filtrate displacement data and optimize the polished dynamometer diagram to reduce some errors and accurately compute pump dynamometer diagram. The new technology was verified to be credible and practical with the on-site data.

Key words: sucker-rod pump; dynamometer diagram; diagnosis technology; filter technique; rod displacement

在各种人工举升系统中,有杆泵抽油系统的效率较高,同时具有可靠性和适应性强等优点,所以应用非常广泛。如果对抽油系统的动态参数了解不足,可能会在抽油过程中发生一些无法预料事故,从而不能及时发现和处理井下问题。因此研究有杆泵抽油系统井下工况诊断技术对进行安全生产、减少事故的发生有着非常重要的意义^[1-17]。

目前对抽油泵工况进行诊断通常是先分析光杆示功图,然后计算抽油杆受力和抽油泵示功图。根据这些参数,定量和定性判别抽油系统的运行状况。由于各种干扰,测得的光杆示功图数据往往不准确。常用的绕绳测量位移的方法,就时常出现滚轮转速抖动的现象,经常使得计算的抽油泵示功图失真。笔者通过对位移数据进行分析,采用傅立叶变换滤波技术对采集的位移数据进行处理,可为诊断程序提供较准确的光杆位移数据,从而得到满意的诊断结果。

1 有杆泵抽油系统诊断原理

首先建立抽油杆柱轴向振动的微分方程,以在地面用测量仪器测量出的光杆位移随时间的变化规律和光杆负荷随时间的变化规律两条曲线为边界条件,抽油振动的周期性为初始条件,组成有杆泵抽油系统诊断技术的数学模型。文献[4-6,17]中的数学模型不但适用于直井,也适用于定向井。用隐式差分求解,可以计算出抽油泵的排液量、抽油泵实际冲程、抽油杆柱上任一点的负荷和位移、示功图、应力、抽油杆与油管的接触压力等参数,对泵的工况进行判别。

2 测量数据误差产生的原因

目前采集光杆的位移和载荷的方法有两种:①拉绳式。抽油机光杆与悬绳器之间由方卡子连接,在方卡子和悬绳器之间放入载荷传感器,则光杆所受到的

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 50574078)和河北省优秀专家出国培训项目联合资助。

作者简介:李敬元,女,1961年11月生,1984年毕业于大庆石油学院采油工程专业,现为燕山大学石油工程系副教授,主要从事采油工程领域的研究工作。E-mail: zfli@ysu.edu.cn

力都将作用在载荷传感器上。通过测量载荷传感器中的电阻应变片的电阻变化,可测量出载荷的数值。用拉绳的方法,在井口底下固定一卷伸的拉绳,另一端固定在载荷传感器上,随着抽油机的上下运动,测出光杆运动的距离。这种方法比较准确,但在测量过程中,测量仪器的绕绳器会出现瞬时不转动的情况,导致测量误差。②加速度式。新测量方法去掉了有线连接,在载荷传感器中直接加 CPU 测量载荷的变化,而位移的测量则是通过测量光杆的加速度并二次积分推导出来的,然后将测量的位移和载荷数据通过天线发射出去。这种测量方法没有第一种准确,本身存在误差,特别是位移误差较大。笔者研究的对象是用拉绳式电子示功仪得到的数据。

3 光杆位移滤波处理技术

消除信号中的噪声称为滤波。滤波处理从其实现的方式可分为硬件滤波和软件滤波。硬件滤波器也称为模拟滤波器。软件滤波器是通过一定的软件算法滤除一定频率的干扰信号,这种滤波也称为数字滤波器。目前数字滤波器已经成为测量系统的一个重要的组成部分,利用它可以从数字信号中提取所需要的信息,抑制不需要的信息^[18]。软件滤波器对于油井采集数据处理是一个重要领域,有着广阔的发展前景。

为了减少位移数据的误差,采用傅立叶低通滤波器技术,其数学表达式为

$$\begin{cases} U(t) = \frac{U_0}{2} + \sum_{n=1}^m [v_n \cos(n\omega t) + \delta_n \sin(n\omega t)] \\ v_n = \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} U_0(t) \cos(n\omega t) dt \\ \delta_n = \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} U_0(t) \sin(n\omega t) dt \end{cases}$$

式中: $U_0(t)$ 为滤波前的光杆位移函数; $U(t)$ 为滤波后的光杆位移函数; $\omega = 2\pi/T_p$, 为角速度; T_p 为抽油周期; $n=0, 1, 2, \dots, m$, 其中 m 为项数, 项数越多, 越接近滤波前光杆位移函数; t 为时间。

4 应用实例

4.1 实例 I

测试日期:2007 年 12 月 5 日。油管内径为 0.062 m, 光杆冲程为 5 m, 冲数为 3.5 次/min, 摩擦系数为 0.02, 油的密度为 882.4 kg/m³, 油的等效黏度为 0.03 Pa·s, 抽油泵直径为 0.044 m, 抽油杆组合参数:(外径 0.025 m, K 级钢级, 608.04 m) + (外径 0.022 m, K 级钢级, 895.70 m) + (外径 0.019 m, K 级钢级, 694.51 m)。表 1 为部分井眼轨迹数据。表 2 为部分光杆示

功图数据。

表 1 油井测斜数据

Table 1 Data of well trajectory

序号	测深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)
1	107.85	0.67	331.58
2	307.72	0.17	64.18
3	507.65	0.78	146.38
4	621.86	0.57	165.78
5	821.74	0.67	166.98
6	1021.35	0.68	170.98
7	1221.68	0.50	188.78
8	1421.51	0.45	213.48
9	1507.21	0.57	247.78
10	1621.28	0.57	241.38
11	1707.24	0.53	173.68
12	1821.53	1.17	232.17
13	1907.26	6.62	104.88
14	2021.25	15.17	92.98
15	2107.54	20.57	91.78
16	2221.57	28.27	90.38
17	2306.51	25.27	92.58
18	2420.58	23.62	90.48
19	2506.16	22.00	55.58
20	2620.00	18.53	86.58

表 2 示功图数据

Table 2 Data of dynamometer diagram

序号	位移/m	载荷/N
1	0	62350.00
2	-0.1760	67700.00
3	-0.5760	77470.00
4	-0.6440	79355.00
5	-1.1780	91450.00
6	-1.9390	89660.00
7	-2.6290	91015.00
8	-3.3330	90750.00
9	-3.9965	91430.00
10	-4.5460	90700.00
11	-4.8865	91175.00
12	-4.8890	87135.00
13	-4.5990	81390.00
14	-4.1590	79230.00
15	-3.6270	76290.00
16	-3.0070	68260.00
17	-2.2290	59035.00
18	-1.3960	58760.00
19	-0.6590	59585.00
20	-0.1470	60490.00

滤波前、后地面示功图如图 1 所示。滤波前的抽油泵示功图左下角有一个向下的突出,且在其他下行程点,泵一直处于拉伸状态,无法解释。滤波以后就成为常见示功图的一种——充气。

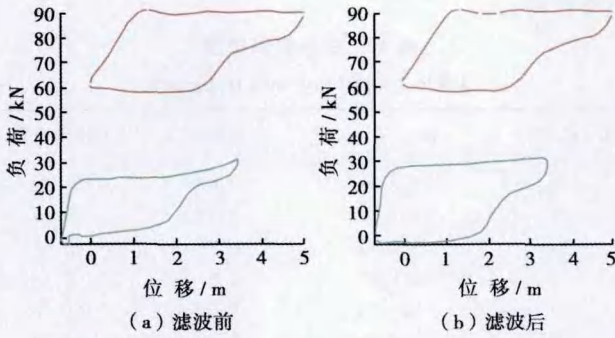


图1 实例I示功图

Fig. 1 Dynamometer diagram of example I

将滤波前、后的速度和加速度进行比较,如图2所示。滤波后的速度和加速度压制了一些坏点的影响,即修正了采集过程中错误的的数据,使采集的数据更符合实际的运动规律。滤波前抽油泵示功图的左下角的异常来自图2中右端的速度和加速度振荡。此刻测量位移的仪器运行出现了异常。

4.2 实例II

测试日期:2007年12月5日。油管内径为0.062 m,光杆冲程为4.95 m,冲数为5次/min,摩擦系数为0.02,油的密度为800.5 kg/m³,油的等效黏度为0.051 Pa·s,抽油泵直径为0.038 m。

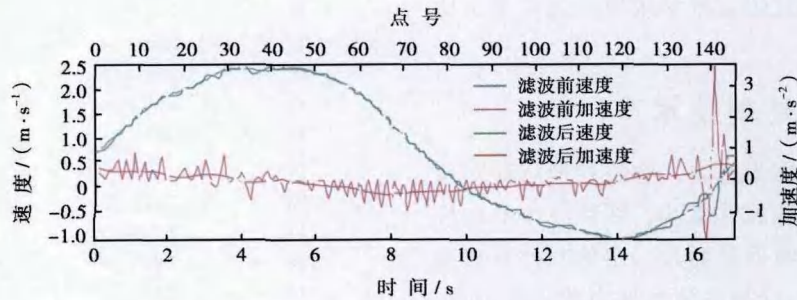


图2 实例I滤波前、后光杆速度和加速度对比

Fig. 2 Contrast of the velocity and the acceleration of polished rod before and after filtering in example I

滤波前、后地面示功图转化为泵功图情况如图3所示。滤波前的抽油泵示功图无法解释。滤波后的示功图情况与实例I相同。抽油泵示功图右下端的形状和标准充气的特征不一样,是由于一些参数值选取的不精确或者没有考虑到参数的影响。

图4是实例II的光杆速度和加速度图。滤波前抽油泵示功图的异常来自图4中左部分的速度和加速度振荡。在该处,测量位移的仪器运行出现了异常。

4.3 诊断结果分析

为了便于分析对比,将滤波前后的诊断结果与实测值进行对比。在实例I中,滤波前的产液量为

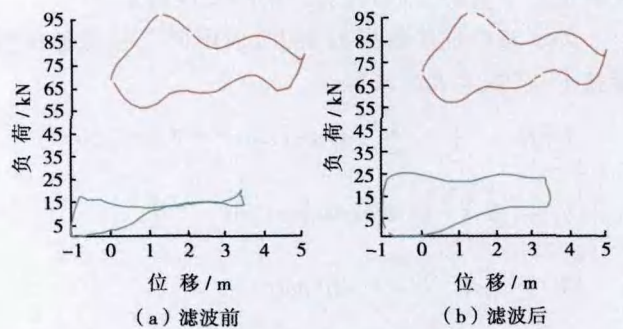


图3 实例II示功图

Fig. 3 Dynamometer diagram of example II

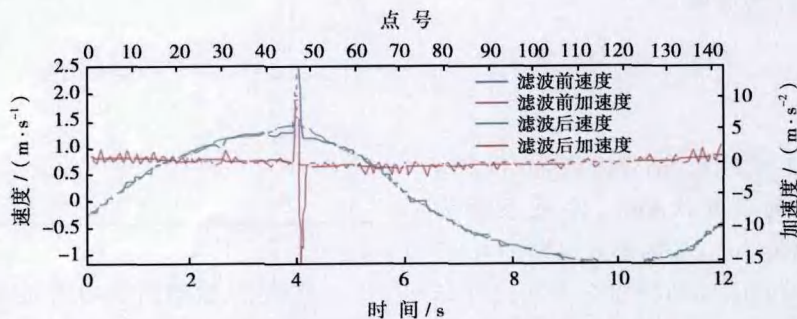


图4 实例II滤波前后光杆速度和加速度对比

Fig. 4 Contrast of the velocity and the acceleration of polished rod before and after filtering in example II

9.825 m³/d, 诊断结果为撞击凡尔座, 滤波后的产液量为 15.262 m³/d, 诊断结果为充气, 实际产液量为 16.79 m³/d; 在实例 II 中, 滤波前的产液量为 7.438 m³/d, 诊断结果未知, 滤波后的产液量为 5.555 m³/d, 诊断结果为充气, 实际产液量为 5.03 m³/d。通过以上诊断数据可以看出, 滤波后的诊断结果与实测值相差不多, 比较吻合。

5 结 论

数字滤波器采用傅立叶变换的方法对采集的数据进行处理。数字滤波器的调整只须对计算项数进行调整, 处理精度和可靠性较高。

用数字滤波器对电子示功仪采集的数据进行处理, 可以改善数据的整体可信度, 提高有杆泵抽油系统诊断技术的准确性。现场试验证明, 采用数字滤波技术可以压制测量过程中的数据异常, 提高诊断结果的可信度。

参 考 文 献

- [1] Gibbs S G. Predicting the behavior of sucker-rod pumping systems[J]. Journal of Petroleum Technology, 1963, 15(7): 769-778.
- [2] Gibbs S G. A general method for predicting rod pumping system performance[R]. SPE 6850, 1977.
- [3] Gibbs S G. Design and diagnosis of deviated rod-pumped wells[R]. SPE 22787, 1992.
- [4] 李子丰, 李敬媛, 张少南. 定向水平井有杆泵抽油系统动态参数诊断和预测的数学模型[J]. 大庆石油学院学报, 1994, 18(1): 28-31.
Li Zifeng, Li Jingyuan, Zhang Shaonan. A mathematical model for prediction and diagnosis of the behavior sucker rod pumping system in directional and horizontal wells[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1994, 18(1): 28-31.
- [5] 李子丰, 张继芬, 李敬媛, 等. 斜直井中有杆泵抽油系统井下工况诊断技术[J]. 石油钻采工艺, 1995, 17(1): 55-60.
Li Zifeng, Zhang Jifen, Li Jingyuan, et al. Diagnoses of downhole working conditions of sucker rod pumps in directional wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1995, 17(1): 55-60.
- [6] 李子丰, 李敬媛, 张继芬, 等. 定向水平井有杆泵抽油系统井下工况力学分析的数学模型及应用[J]. 工程力学, 1995(增刊): 498-504.
Li Zifeng, Li Jingyuan, Zhang Jifen, et al. Mathematical model for dynamic analysis of downhole working conditions of sucker rod pump system in directional wells[J]. Engineering Mechanics, 1995(Supplement): 498-504.
- [7] 刘庆吉, 宋考平. 水平井有杆泵诊断模型[J]. 石油学报, 1997, 18(1): 133-136.
Liu Qingji, Song Kaoping. A diagnostic model for sucker rod pumping of the horizontal well[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(1): 133-136.
- [8] 李子丰, 李敬元, 马兴瑞, 等. 油气井杆管柱动力学基本方程及应用[J]. 石油学报, 1999, 20(3): 87-90.
Li Zifeng, Li Jingyuan, Ma Xingrui, et al. Fundamental equations and its applications for dynamical analysis of rod and pipe string in oil and gas wells[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(3): 87-90.
- [9] 闫文辉, 彭勇, 王仕伍. 有杆泵采油井工况的远程诊断[J]. 石油钻采工艺, 2001, 23(6): 54-57.
Yan Wenhui, Peng Yong, Wang Shiwu. Network telematic of sucker rod pump oil wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001, 23(6): 54-57.
- [10] 张琪. 采油工艺原理[M]. 北京: 石油大学出版社, 2003: 94-163.
Zhang Qi. Principle of petroleum production technology[M]. Beijing: The Press of the University of Petroleum, China, 2003: 94-163.
- [11] 阙朝阳. 有杆抽油系统故障诊断研究[D]. 南京: 南京大学, 2003.
Que Chaoyang. Fault diagnoses research of sucker rod pump system[D]. Nanjing: Nanjing University, 2003.
- [12] 韩国庆, 吴晓东, 张庆生, 等. 示功图识别技术在有杆泵工况诊断中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(5): 70-74.
Han Guoqing, Wu Xiaodong, Zhang Qingsheng, et al. Application of dynamometer card identification in diagnosis of working condition for suck rod pump[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(5): 70-74.
- [13] 葛述卿. 有杆抽油泵性能及泵功图计算分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
Ge Shuqing. Sucker rod pump performance and pump dynamometer card analysis and calculation[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [14] 徐芃, 徐士进, 尹宏伟. 有杆抽油系统故障诊断的人工神经网络方法[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 107-110.
Xu Peng, Xu Shijin, Yin Hongwei. Application of BP neural network and self-organizing competitive neural network to fault diagnosis of suck rod pumping system[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 107-110.
- [15] 严长亮, 彭勇. 泵示功图单井自动量油技术研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(6): 92-95.
Yan Changliang, Peng Yong. Automatic measurement technology of the single-well oil-gas yield based on the pump dynamometer card of a suck-rod pumping well[J]. Journal of Xi'an Petroleum University: Natural Science Edition, 2006, 21(6): 92-95.
- [16] 董世民, 王胜杰, 卢东风, 等. 定向井有杆抽油系统抽汲参数的优化设计和仿真模型[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 120-123.
Dong Shimin, Wang Shengjie, Lu Dongfeng, et al. Simulation models for optimization design of suction parameters for rod pumping system in directional wells[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 120-123.
- [17] 李子丰. 油气井杆管柱力学及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 109-125.
Li Zifeng. Tubular mechanics in oil and gas wells and its applications[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 109-125.
- [18] 刘令普. 数字信号处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002: 47-71.
Liu Lingpu. Digital signal processing[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2002: 47-71.

(收稿日期 2009-03-08 改回日期 2009-09-20 编辑 仇学艳)